



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERBANDINGAN EFEK *BLIND HOOD* DAN *OPEN HOOD*  
TERHADAP PEMBENTUKAN EMISI CO PADA KOMPOR  
BRIKET BATUBARA**

**SKRIPSI**

**IIS SUMARNI  
0606076463**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
DESEMBER 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

PERBANDINGAN EFEK *BLIND HOOD* DAN *OPEN HOOD* TERHADAP  
PEMBENTUKAN EMISI CO PADA KOMPOR BRIKET BATUBARA

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

IIS SUMARNI  
0606076463

FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
KEKHUSUSAN TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
DESEMBER 2009

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Iis Sumarni**

**NPM : 0606076463**

**Tanda tangan :**

**Tanggal : 21 Desember 2009**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Skripsi dengan judul:

**PERBANDINGAN EFEK *BLIND HOOD* DAN *OPEN HOOD* TERHADAP  
PEMBENTUKAN EMISI CO PADA KOMPOR BRIKET BATUBARA**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Dijan Supramono, M.Sc. ( )

Penguji : Dr. rer. nat. Ir. Yuswan Muharam, M.T. ( )

Penguji : Ir. Praswasti P.D.K. Wulan, M.T. ( )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 6 Januari 2010

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT, atas berkat rahmat dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada Bapak Ir. Dijan Supramono, Msc. selaku dosen pembimbing, atas bimbingan, ilmu, diskusi dan nasehatnya dalam pembuatan makalah seminar ini dalam 6 bulan terakhir. Selain itu juga, saya ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof.Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTUI.
2. Yuliusman, ST. MT selaku kordinator mata kuliah spesial skripsi Teknik Kimia FTUI.
3. Ibunda dan Alm. Ayahanda serta adik-adikku tersayang atas segala doa dan dukungan yang tidak pernah terputus.
4. Arif Sugiyanto atas kerjasama dan bantuannya selama menyelesaikan penelitian.
5. Dipo Andika Syarief atas segala dukungan dan bantuannya selama ini.
6. Rumia, Ekka, Shilfa, Linda, Sarah dan Bondan atas segala keceriaan dan bantuan yang diberikan selama proses penulisan skripsi ini
7. Teman-teman S1 Reguler Teknik Kimia UI angkatan 2006 atas kebersamaannya selama ini.
8. Teman-teman 2007 dan 2008 yang telah memberikan dukungan.
9. Seluruh pihak yang tak bisa disebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan dalam penyusunan.

Saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 6 Januari 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPERLUAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Iis Sumarni  
NPM : 0606076463  
Program Studi : Teknik Kimia  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Perbandingan Efek *Blind Hood* Dan *Open Hood* Terhadap Pembentukan Emisi CO Pada Kompor Briket Batubara.

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 6 Januari 2010

Yang menyatakan

( Iis Sumarni )

## ABSTRAK

Nama : Iis Sumarni  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Perbandingan Efek *Blind Hood* Dan *Open Hood* Terhadap Pembentukan Emisi CO Pada Kompor Briket Batubara.

Penggunaan kompor briket batubara saat ini memiliki kelemahan diantaranya emisi CO yang tinggi, lamanya waktu penyalaan, dan ketidakpraktisan dalam pemadaman. Permasalahan pertama membutuhkan penanganan khusus karena emisi CO yang mencapai lebih dari 100 ppm tidak sehat bagi pengguna kompor briket batubara apabila terpapar dalam waktu yang lama. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan emisi CO yang rendah dengan menggunakan hood. Hood yang berada di atas kompor briket bersama dengan *blower* pada bagian bawah kompor akan menciptakan *vortex* dibawah hood dan memperpanjang waktu tinggal sehingga dapat membentuk CO<sub>2</sub> dari sisa CO pada *flue gas*. Parameter yang divariasikan adalah kecepatan superfisial udara, kedalaman *chimney* dan diameter lubang hood. Kecepatan superfisial yang divariasikan adalah 0.6, 1.2 and 1.8 m/sec, jenis hood yang digunakan adalah *open hood* dan *blind hood* dengan diameter lubang 6 cm, dan kedalaman *chimney* yang digunakan adalah 15 cm. Penelitian ini memberikan kesimpulan pada kedalaman *chimney* optimum 15 cm dan kompor dengan *blind hood* lebih baik dalam menghasilkan emisi CO yang rendah..

**Keywords:** kedalaman *chimney*, briket batubara, emisi CO, hood

## ABSTRACT

Name : Iis Sumarni  
Study Program : Chemical Engineering  
Title : Comparative effects of Blind Hood and Open Hood To The formation of CO Emission in Coal Briquette Stove.

The utilisation of coal briquette stove undergoes some constraints such as high CO emission, long ignition time, and unpractical extinguishment. The first constraint requires urgent treatment because high emission which reaches more than 100 ppm for long exposure is not healthy for the coal briquette stove users. This experiment aimed to produce low CO emissions by using the hood. Hood in the briquette stove with a blower at the bottom of the stove will create a vortex beneath the hood and extend the residence time to form CO<sub>2</sub> from the remaining CO in the flue gas. On this research, the values of superficial velocity and chimney depth were varied. The superficial velocity is varied at 0.6, 1.2 and 1.8 m/sec, and using blind hood and open hood, while the chimney depth 15 cm from the top of the stove. The research gives conclusions that the optimum chimney depth is 15 cm and the stove with blind hood is preferable to produce low CO emission.

**Keywords:** chimney depth, coal briquette, CO emission, hood.



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	v
ABSTRAK .....	vi
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Briket Batubara.....	6
2.2 Desain Kompor Briket Batubara.....	11
2.3 Pembakaran.....	13
2.3.1 Teori Pembakaran.....	13
2.3.2 Pembakaran Briket Batubara dan Emisi CO pada Kompor Briket Batubara.....	14
2.3.3 Resirkulasi Gas Hasil Pembakaran pada Kompor Briket.....	18
2.4 <i>Driving Force</i> .....	19
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>21</b>
3.1 Metodologi Penelitian.....	21
3.2 Diagram Alir Penelitian.....	23
3.3 Prosedur Penelitian.....	24
3.3.1 Preparasi Briket Promotor Bentuk Bola dengan <i>Dimples</i> .....	24
3.3.2 Preparasi Briket Pemasakan Bentuk Bola dengan <i>Dimples</i> .....	25
3.3.3 Pengujian Temperatur dan Emisi CO.....	26
<b>BAB 4. ANALISA DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>32</b>
4.1 Pengamatan keseragaman kecepatan udara di daerah <i>chimney</i> .....	33
4.2 Pengukuran <i>ignition time</i> dan emisi CO pada tinggi <i>chimney</i> 5 cm dengan menggunakan <i>open hood</i> .....	35
4.3 Pengukuran <i>igniton time</i> dan emisi CO pada tinggi <i>chimney</i> 15 cm dengan menggunakan <i>open hood</i> .....	38
4.4 Pengukuran <i>ignition time</i> dan emisi CO pda tinggi <i>chimney</i> 25 cm dengan menggunakan <i>open hood</i> .....	40
4.5 Pengukuran <i>ignition time</i> dan emisi CO pada <i>blind hood</i> .....	45

<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>48</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>49</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proporsi kandungan karbon <i>moisture</i> dan <i>volatile matter</i> pada berbagai jenis batubara (Bartok & Sarofim, 1991)	8
Gambar 2.2	Bentuk- bentuk briket batubara	9
Gambar 2.3a	Kompor briket tanpa <i>blowet</i>	12
Gambar 2.3b	Kompor briket dengan <i>blower</i>	12
Gambar 2.4	Deskripsi penyalaan <i>volatile matter</i> pada material briket	15
Gambar 2.5a	Sketsa kompor briket dengan <i>blower</i> dan <i>open hood</i>	19
Gambar 2.5b	Sketsa kompor briket dengan <i>blower</i> dan <i>blind hood</i>	19
Gambar 3.1	Sketsa kompor briket dengan <i>blower</i> dan <i>hood</i>	22
Gambar 3.2	Diagram alir penelitian	23
Gambar 3.3	Desain bentuk grate yang digunakan dengan ukuran diameter lubang terkecil 8 mm dan lubang terbesar 10 mm	26
Gambar 3.4	<i>Quintox gas analyzer</i>	27
Gambar 3.5	Skema peletakkan termokopel pada pengujian temperature briket	31
Gambar 4.1	Bentuk permukaan briket dengan <i>dimples</i>	33
Gambar 4.2	Titik-titik pengukuran pada luasan orizontal di <i>chimney</i>	33
Gambar 4.3a	Temperatur briket pemasakan diukur pada kompor briket dengan kedalaman <i>chimney 5 cm menggunakan open hood</i>	37
Gambar 4.3b	Konsentrasi CO pada <i>flue gas</i> dari pembakaran briket batubara dengan kedalaman <i>chimney 5 cm menggunakan open hood</i>	38
Gambar 4.4a	Temperatur briket pemasakan diukur pada kompor briket dengan kedalaman <i>chimney 15 cm menggunakan open hood</i>	39
Gambar 4.4b	Konsentrasi CO pada <i>flue gas</i> dari pembakaran briket batubara dengan kedalaman <i>chimney 15 cm menggunakan open hood</i>	40
Gambar 4.5a	Temperatur briket pemasakan diukur pada kompor briket dengan kedalaman <i>chimney 25 cm menggunakan open hood</i>	42
Gambar 4.5b	Konsentrasi CO pada <i>flue gas</i> dari pembakaran briket batubara dengan kedalaman <i>chimney 25 cm menggunakan open hood</i>	42
Gambar 4.6a	Temperatur briket pemasakan diukur pada kompor briket dengan kedalaman <i>chimney 15 cm menggunakan blind hood</i>	45
Gambar 4.6b	Konsentrasi CO pada <i>flue gas</i> dari pembakaran briket batubara dengan kedalaman <i>chimney 15 cm menggunakan blind hood</i>	47

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1a	Pengukuran kecepatan pada luasan horizontal pda kompor briket dengan kedalaman <i>chimney</i> 5 cm	34
Tabel 4.1b	Pengukuran kecepatan pada luasan horizontal pda kompor briket dengan kedalaman <i>chimney</i> 15 cm	34
Tabel 4.1c	Pengukuran kecepatan pada luasan horizontal pda kompor briket dengan kedalaman <i>chimney</i> 25 cm	35
Tabel 4.2a	Temperatur maksimum dari briket batubara yang diukur pada kompor briket untuk berbagai kedalaman <i>chimney</i> dengan menggunakan <i>open hood</i>	43
Tabel 4.2b	Emisi CO rata-rata pada <i>flue gas</i> yang diukur pada <i>open hood</i>	45
Tabel 4.3a	Temperatur maksimum dari briket batubara yang diukur pada kompor briket untuk berbagai kedalaman <i>chimney</i> dengan menggunakan <i>blind hood</i>	46
Tabel 4.3b	Emisi CO rata-rata pada <i>flue gas</i> yang diukur pada <i>blind hood</i>	46

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Salah satu bentuk implementasi pengembangan batubara dalam rencana energi 2025 adalah pengembangan briket batubara sebagai bahan bakar pengganti minyak tanah. Briket batubara menjadi salah satu andalan dalam diversifikasi energi, tidak hanya karena sumber batubara yang terdapat di Indonesia masih cukup besar sekitar 6.759 juta ton (Purwanto et al, 2006), tetapi juga karena menghasilkan pemanasan yang tinggi dan kontinyu untuk pembakaran yang cukup lama. Selain itu briket juga tidak beresiko untuk meledak/terbakar (<http://ristek.go.id>, 2006).

Namun demikian, pengembangan briket batubara akan meningkatkan polusi udara dan meningkatkan risiko hujan asam, terlebih jika briket batubara akan dikembangkan di skala rumah tangga akan berdampak pada kesehatan perempuan dan anak-anak (WHO, 2002). Dampak pembakaran bahan bakar padat memudahkan manusia terkena infeksi pernapasan. Oleh karena itu diperlukan penelitian lebih lanjut untuk membantu pengembangan teknologi briket batubara, terutama mengenai faktor kesehatan dan keselamatan. Bahaya itu terlihat jelas karena masyarakat Indonesia lebih banyak yang memakai briket tanpa karbonisasi dan umumnya dapur masyarakat Indonesia tidak dilengkapi dengan cerobong asap (Waspada, 2009). Pembakaran briket tanpa karbonisasi pada prinsipnya melibatkan secara simultan reaksi antara oksigen dari udara dengan hidrokarbon yang terkandung di *volatile matter* dan reaksi antara oksigen dan karbon yang menghasilkan gas CO. Hasil penelitian yang dimuat *American Journal of Epidemiology* tahun 2002 menyatakan bahwa memasak di dalam ruangan dengan bahan bakar padat, termasuk batubara, tanpa cerobog asap, akan meningkatkan risiko kanker paru-paru secara signifikan.

Hasil uji Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) menunjukkan, pembakaran 1 kg briket selama 2-3 jam dan menghasilkan emisi karbonmonoksida (CO) rata-rata 132 ppm (Tekmira, Bandung). Pada saat temperatur pembakaran tinggi, maka konsentrasi emisi CO yang dihasilkan relatif rendah, sedangkan pada saat temperatur pembakaran mulai mengalami penurunan, konsentrasi emisi CO mengalami kenaikan. Di duga suplai udara tidak seragam sehingga adanya potensi kenaikan konsentrasi CO pada kompor briket (Nasir, 2008).

Temperatur pembakaran briket yang rendah tidak menguntungkan dari segi emisi gas CO dan hidrokarbon. Reaksi oksidasi dari CO menjadi CO<sub>2</sub> bisa dipercepat dengan kondisi temperatur pembakaran yang tinggi (Makino, 2000). Namun hal ini tidak mungkin dicapai mengingat sangatlah berbahaya jika memasak dengan temperatur tinggi. Banyaknya emisi gas CO merupakan indikasi bahwa reaksi pembakaran mempunyai efisiensi yang rendah. Hal ini bisa terlihat dari besarnya panas eksotermik yang dihasilkan. Besarnya panas eksotermik reaksi dari material karbon ke CO dan dari material karbon ke CO<sub>2</sub> masing-masing adalah:



Harga  $\Delta\text{H}^0_{298\text{K}}$  dari kedua persamaan reaksi di atas menunjukkan bahwa reaksi oksidasi material karbon untuk membentuk gas CO hanya memberikan panas sebanyak 30% dibanding dengan reaksi oksidasi untuk membentuk gas CO<sub>2</sub>. Karena itu, pengurangan emisi gas CO mempunyai tiga keuntungan yaitu mengurangi emisi polutan, meningkatkan efisiensi pembakaran, dan mengurangi emisi hidrokarbon (Zhang et al, 2000). Namun, Untuk itulah perlu dilakukannya suatu penelitian yang membahas pengurangan emisi CO dari segi teknik resirkulasi gas agar menghasilkan pembakaran yang sempurna.

Salah satu usaha yang akan dilakukan dalam pengurangan emisi pada kompor briket batubara adalah dengan cara melakukan modifikasi resirkulasi gas pada kompor briket sehingga gas CO akan mencapai konversi ke gas CO<sub>2</sub>

semaksimal mungkin. Modifikasi dilakukan dengan meninjau aspek aerodinamika dari reaksi pembakaran pada kompor briket batubara di daerah *chimney*. Resirkulasi udara ini bertujuan untuk dan menyeragamkan suplai udara di daerah *chimney* dan memperoleh *residence time* yang lebih lama dari CO. *Residence time* yang panjang diharapkan akan mengakibatkan CO bereaksi lebih lanjut dengan O<sub>2</sub> sehingga menghasilkan CO<sub>2</sub> sebagai indikator pembakaran sempurna.

## 1.2 Rumusan Masalah

Kompor briket batubara bekerja pada temperatur yang relatif rendah (kurang dari 400°C) (Supramono, 2008). Dengan kondisi demikian, emisi gas CO yang dihasilkan cenderung tinggi karena ketidak-cukupan panas untuk mengkonversi gas CO yang dibentuk di permukaan briket menjadi gas CO<sub>2</sub>. Faktor yang mungkin dieksploitasi untuk menghasilkan emisi gas CO yang rendah adalah meningkatkan waktu tinggal gas hasil pembakaran dalam *chimney* kompor sehingga gas CO teroksidasi lebih lanjut menjadi CO<sub>2</sub>. Salah satu metoda untuk memperbesar waktu tinggal adalah dengan pemasangan *hood* pada bibir kompor briket yang memungkinkan gas hasil pembakaran mengalami resirkulasi pada lingkungan panas. Kecepatan *superficial* udara, ketinggian *chimney*, dan diameter lubang *hood* yang menentukan volume resirkulasi gas merupakan parameter yang akan diteliti efeknya terhadap emisi gas CO.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memperoleh hubungan antara kecepatan *superficial udara masukan*, diameter lubang *hood*, dan kedalaman *chimney* terhadap emisi gas CO.
2. Memperoleh korelasi antara temperatur briket dan keseragaman udara dengan emisi gas CO selama pembakaran briket.
3. Memperoleh desain *hood* dan kecepatan *superficial* udara yang tepat guna memperoleh keseragaman udara saat pembakaran.

#### 1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, penulis membatasi pembahasan sebagai berikut:

1. Briket batubara yang akan dipakai adalah briket pemasakan jenis lignit yang diperoleh dari pertambangan Tanjung Enim.
2. Variabel yang akan divariasikan pada penelitian kali ini adalah kecepatan superfisial *blower* (0,6 m/s; 1,2 m/s; dan 1,6 m/s), jenis *hood* yang digunakan yang terdiri dari *open hood* dan *blind hood* yang berdiamenter masing-masing 6 cm, dan ketinggian *chimney* 15 cm.

#### 1.1 Sistematika Penulisan

Makalah seminar ini ditulis berdasarkan sistematika sebagai berikut:

##### BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan skripsi

##### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori-teori mengenai briket batubara, disain kompor, serta teori-teori yang mendukung lainnya

##### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang langkah kerja dalam pengambilan data, preparasi, dan alat/bahan yang digunakan dalam penelitian

##### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang penjelasan akan hasil penelitian dan pembahasannya

##### BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan percobaan yang dilakukan terkait dengan tujuan dari penelitian ini.



## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Briket Batubara

Indonesia memiliki cadangan batubara yang cukup besar, yaitu sebesar 6.759 juta ton (Widodo et al, 2006). Cadangan tersebut sebagian besar terdapat di Sumatera Selatan (39,64%), Kalimantan Timur (30,65%) dan Kalimantan Selatan (27,64%). Cadangan batubara tersebut mengandung batubara yang berkalori rendah atau batubara jenis *lignit* (bernilai kalori kurang dari 5100 kal/gram) sebanyak 43,88% dari total cadangan, bernilai kalori medium atau berjenis *sub-bituminus* (5100 – 6100 kal/gram) sebanyak 36,10%, bernilai kalori tinggi atau berjenis *bituminus* (6100 – 7100 kal/gram) sebanyak 18,19%, dan bernilai kalori sangat tinggi atau berjenis *antrasit* (lebih besar dari 7100 kal/gram) sebanyak 1,83% (Purwanto et al., 2006). Di tahun 2005, dari 149,67 juta ton batubara yang diproduksi, sebanyak 36,80 juta ton digunakan di dalam negeri dan hampir satu juta ton di antaranya digunakan untuk briket batubara yang banyak digunakan sebagai bahan bakar padat di industri kecil dan rumah tangga. Briket batubara dibuat dari *lignit* dan *sub-bituminus* (Setiawan, 1996). Cadangan kedua jenis batubara tersebut sebagian besar terdapat di Sumatera Selatan , Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan (Purwanto et al., 2006).

Batubara mengandung tiga komponen utama, yaitu:

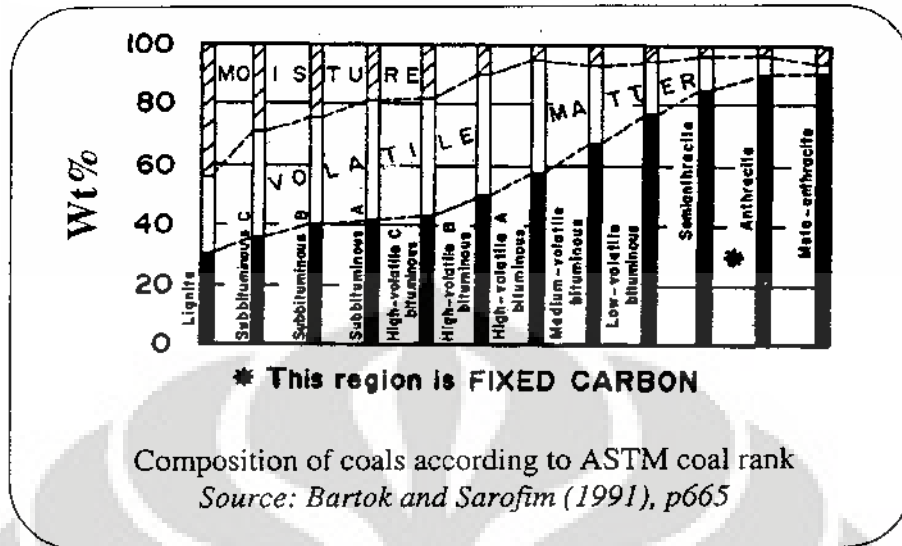
- Batubara murni (*pure coal*), di mana mengandung zat-zat organik yang terdiri dari karbon, hidrogen, serta sejumlah kecil nitrogen, sulfur dan oksigen.
- Bahan-bahan mineral (*mineral matter*), di mana terdiri dari zat-zat anorganik yang akan menjadi abu bila batubara dibakar seperti lempung dan batu pasir.
- Air (*moisture*), di mana terdiri dari air yang terdapat di dalam batubara (*inherent moisture*) serta air yang terdapat pada permukaan (*free moisture*).

- Zat terbang (*volatile matters*) merupakan bahan yang mudah menguap dalam batubara seperti hidrogen, hidrokarbon, dan karbonmonoksida. Kandungan bahan yang mudah menguap berkisar 20-35%.

(Koestoer, 1997)

Tergantung jenis batubara, proporsi antara ketiga komponen tersebut berbeda-beda. Gambar 2.1 menunjukkan proporsi yang umumnya ditemukan di kebanyakan batubara (Turns, 2000). Gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai kalori batubara, semakin tinggi kandungan karbon, semakin rendah kandungan *volatile matter* dan semakin kecil kandungan *moisture*. Batubara *lignit* dan *sub-bituminus* pada umumnya mengandung karbon kurang dari 40%. Panas pembakaran diperoleh baik dari reaksi antara karbon dan oksigen di udara maupun dari reaksi antara senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam *volatile matter* (Durie, 1991). *Volatile matter* mempunyai nilai kalori per satuan massa lebih rendah dibanding karbon. *Moisture* cenderung menurunkan nilai kalor batubara karena dalam pembakaran batubara *moisture* membutuhkan kalor untuk berubah fasa dari cair ke uap.

Data statistik tahun 2004 dari Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral menunjukkan bahwa briket batubara sebagian besar digunakan sebagai pemanas di peternakan ayam (65%), untuk pemasakan di rumah tangga dan warung makan (12%), untuk pengeringan tembakau dan karet (7%), serta untuk pembakaran bata, genteng dan kapur (8%) (DESM, 2005). Penggunaannya diperkirakan akan meningkat hampir dua kali di tahun 2010 (DESM, 2005).



**Gambar 2.1** Proporsi kandungan karbon, *moisture* dan *volatile matter* pada berbagai jenis batubara (Bartok & Sarofim, 1991)

Briket batubara adalah bahan bakar padat dengan bentuk dan ukuran tertentu, yang tersusun dari butiran batubara halus yang telah mengalami proses pemampatan dengan daya tekan tertentu, agar bahan bakar tersebut lebih mudah ditangani dan menghasilkan nilai tambah dalam pemanfaatannya (Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, 2005). Bentuk dan ukuran briket batubara hasil cetakan (kemasan) dibuat sesuai untuk keperluan sektor pengguna. Saat ini telah dikembangkan dua bentuk briket batu bara, yaitu tipe bantal (telur) yang padat dan tipe sarang tawon (berongga). Tipe bantal berukuran kecil cocok digunakan untuk rumah-tangga (memasak), dan yang berukuran lebih besar baik untuk industri. (Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, 2005).



**Gambar 2.2** Bentuk-bentuk briket batubara

Tiga jenis briket batubara berdasarkan perbedaan komposisinya, yaitu:

1. Briket batubara biasa (tanpa karbonisasi), yang merupakan campuran dari batubara dan zat perekat yang biasanya berupa lempung. Bahan baku utama briket batubara tanpa karbonisasi adalah batubara yang tidak melalui proses karbonisasi. Komposisi campurannya adalah batubara 80-95%, bahan pengikat 5-20%, dan bahan imbuah 0-5%.
2. Briket batubara terkarbonisasi, di mana batubara yang digunakan dikarbonisasi atau dipirolisis terlebih dahulu dengan cara membakarnya pada temperatur tertentu sehingga sebagian besar dari zat pengotor terutama *volatile matters* akan hilang. Dengan kadar pengotor yang rendah, maka akan menghasilkan emisi yang rendah pula, sebab relatif tidak berasap. Pada proses karbonisasi terjadi kehilangan massa bahan baku  $\pm 40\%$ , oleh karena itu ongkos produksi menjadi lebih mahal sehingga harganya pun akan lebih mahal. Bahan baku utama briket batubara dengan persentase antara 0-90%, sisanya 5-15% merupakan bahan pengikat dan bahan imbuah. Bahan imbuah yang biasa digunakan adalah kapur dengan kadar maksimum 5% yang berfungsi sebagai absorban untuk menangkap  $\text{SO}_2$ .
3. Briket bio-batubara (bio-briket), selain zat perekat, ke dalam campuran ditambahkan biomassa untuk mempercepat pembakaran. Biomassa yang

biasanya digunakan berasal dari ampas industri agro seperti ampas tebu, ampas kelapa sawit dan sekam padi, serta dapat juga digunakan bubuk gergaji. Bahan briket batubara terdiri dari: batubara, biomassa, bahan pengikat dan kapur. Komposisi campurannya adalah batubara 50-80%, biomassa 10-40%, bahan pengikat 5-10%, bahan imbuhan (kapur) 0-15%.

Beberapa syarat yang perlu diperhatikan untuk briket batubara yang baik (Puslitbang, 2001) :

1. Mudah dinyalakan.
2. Tidak mengeluarkan asap dan bau yang berlebihan pada saat dinyalakan.
3. Gas hasil pembakaran yang dihasilkan, terutama CO, harus masih dalam batas yang ditentukan oleh Surat Keputusan Menteri Sumber Daya Manusia dan Transmigrasi Indonesia SE-01-MENAKERTRANS/1997, yaitu konsentrasi maximum dari emisi CO pada tempat kerja adalah sebesar  $25 \text{ mg/Nm}^3$  atau 25 ppm.
4. Secara fisik briket harus kuat dan tidak mudah pecah jika ditransportasikan.
5. Kedap air dan tidak berjamur atau degradasi jika disimpan dalam jangka waktu yang cukup lama.
6. Memiliki kandungan abu yang rendah.
7. Mempunyai suhu pembakaran yang tetap ( $\pm 1100 \text{ }^\circ\text{C}$ ) dalam jangka waktu yang cukup panjang.
8. Harganya dapat bersaing dengan bahan bakar lain.

## **2.2 Desain Kompor Briket Batubara**

Rancangan kompor pada dasarnya dibuat untuk mencapai efisiensi pembakaran yang tinggi, tak kalah pentingnya juga untuk menekan emisi gas yang dihasilkan. Jenis kompor sangat bergantung pada sektor penggunaannya. Kompor untuk industri berukuran lebih besar daripada kompor untuk rumah tangga. Rata-

rata kompor untuk industri rumahan memiliki kapasitas briket batu bara 5-10 kg, sedangkan untuk rumah tangga hanya 1-2 kg. Jenis kompor yang sudah banyak beredar di pasaran saat ini terbuat dari bahan tembikar (tanah liat); selain murah, juga mempunyai efisiensi antara 31-33 % dan sudah terbukti keandalannya, terutama dalam menekan laju emisi. Kompor briket batubara harus memiliki syarat:

- Ada ruang bakar untuk briket.
- Adanya aliran udara (oksigen) dari lubang bawah menuju lubang atas dengan melewati ruang bakar briket.
- Ada ruang untuk menampung abu briket yang terletak di bawah ruang bakar briket (Balia, 1996)

Untuk memperoleh suhu yang sesuai dengan kebutuhan produksi, kompor untuk industri biasanya dilengkapi dengan *blower*. Kinerja pembakaran pada kompor ditentukan oleh faktor waktu, suhu, dan kualitas udara pembakaran. Karakteristik pembakaran briket batubara dipengaruhi oleh jumlah briket batubara yang dibakar dan jenis kompor yang digunakan. Satu kilogram briket batubara dengan efisiensi tungku 31–33%, mempunyai panas secara efektif selama 1,5–2 jam. Untuk 2 kg briket batu bara, lamanya waktu pembakaran antara 2,5–3 jam. Nilai di atas mengindikasikan bahwa briket batubara akan efektif dan efisien jika digunakan lebih dari dua jam. Hal ini selain karena faktor suhu yang akan dicapai lebih baik, juga disebabkan faktor kesulitan tertentu. Faktor kesulitan yang dimaksud adalah, bahwa sekali briket batubara dibakar, maka harus digunakan sampai habis karena briket tersebut sulit dipadamkan atau dihidupkan kembali (Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, 2005).



**Gambar 2.3a** Kompor briket tanpa *blower*



**Gambar 2.3b.** Kompor briket dengan *blower*

Usaha yang dilaku Puslitbang Tekmira Bandung untuk memperkecil emisi CO adalah dengan menciptakan ventilasi di ruangan di mana kompor digunakan dengan cara mengalirkan udara keluar dari ruangan dengan *fan* penghisap (*exhaust fan*). Udara segar dapat bersirkulasi dengan cepat dan gas CO akan mengalami perpindahan secara konveksi ke udara sekitar kompor yang masih bersih sehingga kadar CO di udara menjadi turun drastis. Dengan cara ini kadar CO di ruangan dapur atau tempat pembakaran yang menggunakan briket batubara bisa mencapai kurang dari 5 ppm (lebih rendah daripada nilai ambang batas) (Balía, 1996)

Akan tetapi, pada umumnya ruangan tempat pembakaran briket dan dapur di rumah tangga-rumah tangga di Indonesia ventilasinya sangat buruk atau, bila ada ventilasi, tidak dilengkapi dengan *exhaust fan*. Tanpa adanya *exhaust fan*, perpindahan massa gas CO ke udara sekitar kompor yang masih bersih berjalan sangat lambat (perpindahan massa secara difusi) sehingga penurunan kadar polutan juga terjadi sangat lambat. Karena itu, perlu suatu metoda untuk memperbaiki rancangan kompor itu sendiri untuk menurunkan kadar emisi CO dan hidrokarbon.

## 2.3 Pembakaran

### 2.3.1 Teori Pembakaran

Pembakaran adalah suatu reaksi kimia yang melibatkan pencampuran bahan bakar dan oksigen untuk menghasilkan panas dan produk pembakaran (Bartok, W. & Sarofim, A.F, 1991). Menurut Vandaveer dkk., pembakaran didefinisikan sebagai suatu reaksi kimia antara oksigen dengan bahan yang dapat terbakar (*combustible material*) yang menghasilkan kalor secara tepat dan diiringi dengan pancaran cahaya. Dari definisi ini dapat diuraikan lebih lanjut bahwa ada beberapa syarat yang harus dipenuhi agar dapat terjadi suatu proses pembakaran. Syarat – syarat tersebut yaitu :

- a) Adanya bahan bakar (*Combustible material*). Bahan bakar didefinisikan sebagai bahan – bahan yang apabila terbakar dapat meneruskan proses pembakaran dengan sendirinya disertai dengan pengeluaran kalor. Secara umum, unsur di dalam bahan bakar adalah C, H dan S.
- b) Adanya suplai oksigen, oksigen yang digunakan dalam pembakaran ini dapat berupa oksigen murni maupun oksigen yang berasal dari udara (lebih banyak dipakai).
- c) Adanya energi panas yang berfungsi untuk mengaktifasikan reaksi pembakaran (*ignition*) sehingga proses pembakaran dapat terjadi. (Beck & Hayhurst, 1990).

Reaksi pembakaran dapat terwujud bila ketiga faktor berikut dipertimbangkan:

1. Temperatur yang cukup tinggi untuk menyalakan dan menjaga penyalaan bahan bakar.
2. Fasa gas yang memungkinkan kontak yang baik antara oksigen dan bahan bakar.
3. *Time*/waktu yang cukup yang memungkinkan terjadinya reaksi pembakaran.



### 2.3.2 Pembakaran Briket Batubara dan Emisi CO pada Kompor Briket Batubara

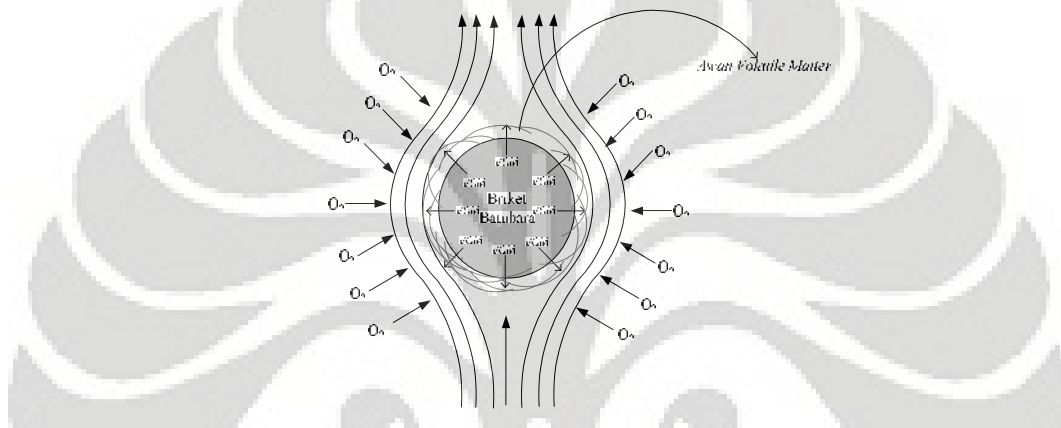
Walaupun prospek penggunaannya sangat baik karena besarnya cadangan batubara Indonesia, tetapi pemanas briket maupun kompor briket masih mempunyai kelemahan dalam penyalaan dan emisi gas buangnya. Emisi polutan yang mungkin timbul akibat pembakaran briket batubara antara lain CO, sisa hidrokarbon tak terbakar yang berupa asap, NO<sub>x</sub> yang terdiri dari NO, NO<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>O, dan SO<sub>2</sub> jika batubara mengandung sulfur.

Dengan adanya komposisi tersebut, pembakaran material karbon mengalami beberapa proses yang berbeda yang berlangsung secara berurutan seiring dengan kenaikan temperatur material karbon:

1. Proses pemanasan yang bertujuan menguapkan kandungan air pada batubara. Proses ini terjadi pada temperatur 50°C -130°C. Pada saat briket batubara dipanaskan maka akan terbentuk lapisan batas (*boundary layer*) pada permukaan briket batubara. Lapisan ini terbentuk karena aliran udara pembakaran kontak dengan briket batubara.
2. Proses pirolisa (*devolatilization*), yang terjadi ketika briket karbon mengalami pemanasan. *Volatile matters* (material yang mudah menguap) termasuk tar terlepas dari permukaan dan pori-pori partikel material karbon sehingga terbentuk *char* (arang). Pada material batubara, proses ini mulai terjadi pada temperatur sekitar 150°C dan mencapai kecepatan pelepasan *volatile matters* maksimum pada temperatur antara 300°C hingga 400°C dan berlanjut hingga temperatur sekitar 800°C (Murray, 1969). *Volatile matter* bereaksi dengan oksigen sehingga terbentuk nyala api pada permukaan briket. Pada proses ini udara terhalang untuk kontak dengan permukaan briket karena terjadinya awan *volatile matter*. Terbentuknya nyala api oleh *volatile matter* menghalangi penetrasi udara ke permukaan briket (Lau dan Niksa, 1992) yang secara deskriptif terlihat di Gambar 2.4. Proses selanjutnya adalah proses pencampuran gas-gas yang terbentuk dari hasil pemanasan dan devolatilisasi dengan oksigen internal bertermperatur tinggi yang terjadi di permukaan batubara untuk melakukan proses pembakaran

*volatile matters* yang menghasilkan panas untuk menaikkan temperatur batubara. Difusi oksigen eksternal yang berpenetrasi setelah zat *volatile* terbakar mengawali proses penyalan, kemudian oksigen teradsorpsi dan bereaksi pada permukaan briket. Selanjutnya terjadi proses transfer panas secara konduksi dari permukaan ke bagian dalam briket.

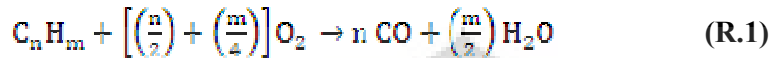
3. *Char* yang terbentuk bereaksi dengan udara setelah material *volatile* terlepas dari permukaan briket sehingga terbentuk gas CO dan CO<sub>2</sub>.



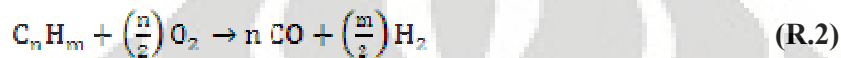
**Gambar 2.4** Deskripsi penyalan *volatile matter* pada permukaan material briket

Penyalan briket batubara secara konvensional umumnya dilakukan dengan merendam beberapa briket dalam minyak tanah selama beberapa menit. Briket ini kemudian dinyalakan dengan pematik api juga dalam beberapa menit dan diletakan pada lapisan atas briket untuk selanjutnya membakar briket di lapisan di bawahnya. Aliran udara dalam kompor disebabkan adanya aliran udara ke atas (*updraft*) melalui lubang di bagian bawah kompor secara natural sebagai akibat adanya perbedaan densitas antara gas hasil pembakaran dan udara sekitar. Oleh karena aliran natural ini, *supply* udara (oksigen) untuk proses pembakaran menjadi kurang (*insufficient*) sehingga pembakaran menjadi tidak sempurna. Kompor perlu dimodifikasi dengan memasang *blower* pada bagian bawah *blower*, sehingga *supply* udara ke dalam kompor tercukupi untuk proses pembakaran (Balía,1996).

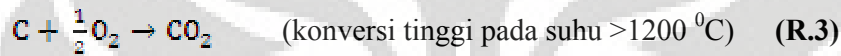
Proses pembakaran dari briket pada prinsipnya melibatkan reaksi simultan dari oksigen (udara) dan hidrokarbon yang terkandung dalam zat *volatile* dan reaksi oksigen dengan karbon batubara. Dalam reaksi yang melibatkan zat *volatile*, gas CO dihasilkan menurut reaksi berikut (Thurgood & Smoot, 1979):



Atau



Reaksi kelanjutan ialah reaksi oksidasi CO, menurut reaksi :



(Makino, 1992)

Atau



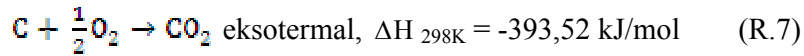
(Field, et al., 1967)

Reaksi (R.3) dan (R.4) adalah reaksi pengendali karena laju reaksi reaksi tersebut lebih lambat daripada reaksi (R.1) dan (R.2) kecuali reaksi (R.3) terjadi pada temperatur yang sangat tinggi. Penghilangan CO tergantung dari laju reaksi dari reaksi (R.3) dan (R.4) dan kondisi yang menunjang terjadinya reaksi tersebut. Menurut Beck and Hayhurst (1990), reaksi ini memerlukan kondisi yang kaya oksigen untuk meningkatkan konversi menjadi CO<sub>2</sub>.

Untuk reaksi yang melibatkan karbon dan oksigen, Makino (1992) mengajukan reaksi – reaksi dipermukaan karbon sebagai berikut :



dan reaksi dalam fasa gas:



CO merupakan produk utama dari reaksi oksidasi karbon, dan CO kemudian teroksidasi dalam fasa gas saat meninggalkan permukaan briket batubara (Ayling and Smith, 1972). Laju reaksi untuk reaksi C – O<sub>2</sub> memiliki orde yang lebih tinggi daripada reaksi C – CO<sub>2</sub> atau CO – O<sub>2</sub> (Walker, 1959). Untuk terciptanya reaksi lanjutan yaitu R.3, maka diperlukan waktu tinggal yang cukup lama dalam kompor, sehingga CO yang dihasilkan dari R.1 dapat teroksidasi lagi oleh O<sub>2</sub> yang berlebih. Reaksi lanjutan tersebut bisa mengkonversi CO menjadi CO<sub>2</sub>.

Emisi CO berasal dari reaksi oksidasi tak sempurna hidrokarbon dan karbon yang terkandung dalam briket. Untuk memperoleh reaksi yang sempurna menuju pembentukan CO<sub>2</sub>, tiga syarat harus dipenuhi, yaitu kecukupan waktu tinggal reaksi untuk reaksi CO ke CO<sub>2</sub>, kecukupan oksigen untuk menyempurnakan reaksi oksidasi, dan temperatur reaksi yang cukup tinggi untuk memperbesar kinetika reaksi oksidasi (Makino, 1992) Temperatur yang rendah tidak menguntungkan untuk konversi CO ke CO<sub>2</sub> yang membutuhkan temperatur yang tinggi.

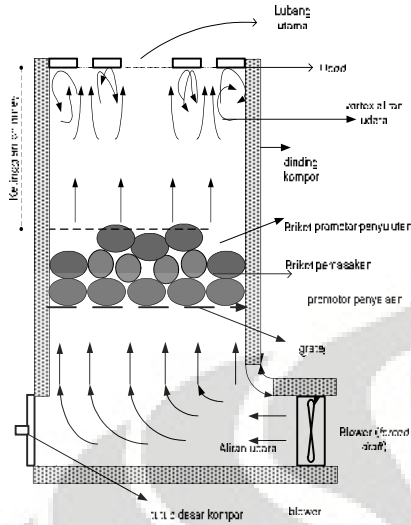
Untuk mengimbangi kondisi yang tidak menguntungkan ini, briket batubara harus memenuhi persyaratan pertama yaitu tersedianya waktu tinggal yang lebih lama untuk meningkatkan konversi dari CO ke CO<sub>2</sub> karena konversi dari CO menjadi CO<sub>2</sub> terjadi dengan lambat. Hal lain yang mungkin dilakukan adalah memenuhi persyaratan kedua yaitu kecukupan oksigen yang kontak dengan hidrokarbon yang tak teroksidasi sempurna dan CO untuk bereaksi membentuk CO<sub>2</sub>. Sebaliknya, udara yang berlebihan akan menyerap panas pembakaran (efek *quenching*) dan menyulitkan terbentuknya temperatur yang tinggi untuk konversi dari CO ke CO<sub>2</sub> sehingga reaksi oksidasi terjadi secara parsial. Produk dari reaksi oksidasi parsial adalah senyawa-senyawa beroksigen seperti -CH<sub>2</sub>O, -CHO and CO gas (Walker et al, 1959). Dengan demikian, agar emisi gas CO dan hidrokarbon bisa diperkecil, di semua zona pengontakan briket dan udara dalam

kompot briket dan zona pencampuran fluida, waktu pengontakan di fasa gas cukup panjang, konsentrasi udara cukup dan temperatur di fasa gas terjaga tinggi.

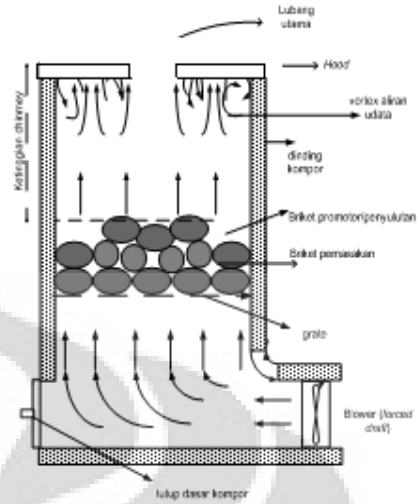
### 2.3.3 Resirkulasi Gas Hasil Pembakaran pada Kompot Briket Batubara

Dari uraian di atas, maka hal yang mungkin dilakukan untuk mereduksi gas emisi gas CO adalah dengan menyediakan waktu tinggal yang lebih lama agar gas CO terkonversi sempurna menjadi gas CO<sub>2</sub>. Residence time yang lebih lama bisa didapatkan dari menciptakan resirkulasi udara pada daerah *chimney*. Metode yang digunakan adalah menggunakan *hood* sebagai penahan laju alir udara keluar kompot yang diharapkan dapat mengurangi emisi CO (Supramono, 2008). Dengan adanya penahan berupa *hood*, emisi CO hasil pembakaran akan lebih lama tertahan dan memiliki waktu kontak yang lebih lama dengan oksigen sehingga diharapkan dapat memaksimalkan konversi CO menjadi CO<sub>2</sub>.

Gas hasil pembakaran akan mengalami resirkulasi yang disebabkan oleh *hood* yang menahan laju alir udara keluar kompot. Resirkulasi ini dapat menyebabkan panas pembakaran tidak cepat terbuang, seperti yang terlihat pada sketsa gambar kompot briket pada gambar 2.5 di bawah ini. Aliran panas yang tertahan oleh proses resirkulasi ini akan menyebabkan daerah di atas unggun briket menjadi semakin panas, sehingga kondisi ini bisa dimanfaatkan untuk mengkonversi CO menjadi CO<sub>2</sub>. Pada gambar 2.5a menunjukkan desain kompot dengan *open hood* sedangkan pada gambar 2.5b menunjukkan desain kompot dengan menggunakan *blind hood*. *Open hood* memiliki diameter lubang utama sebesar 6 cm dan diameter lubang kecil sebesar 2 cm di sekeliling lubang utama. Sedangkan *blind hood* hanya memiliki satu lubang utama berdiameter 6 cm tanpa adanya lubang-lubang kecil di sekelilingnya. Kedua jenis *hood* tersebut digunakan dengan tujuan agar persentase penahanan gas hasil pembakaran dapat lebih lama sehingga dapat menahan udara pembakaran lebih lama lagi agar tersedia waktu tinggal yang cukup konversi gas CO ke gas CO<sub>2</sub>.



**Gambar 2.5a** Sketsa kompor briket dengan blower dan open hood



**Gambar 2.5b.** Sketsa kompor briket dengan blower dan blind hood

## 2.4 Driving force

*Driving force* suplai oksigen ke dalam kompor dipengaruhi oleh:

### 1.1 Gradient density (bouyancy).

*Stack effect* adalah perpindahan udara masuk dan keluar *chimney* yang dipengaruhi adanya *bouyancy*. *Bouyancy* terjadi bila terdapat perbedaan densitas gas pada bagian dalam *chimney* dan atas kompor akibat adanya perbedaan temperatur. Semakin besar beda temperatur dan ketinggian, semakin besar pula *satch effectnya*. *Stack effect* dikenal juga sebagai *chimney effect*.

### 2.1 Back pressure

Pada saat pembakaran mencapai temperatur tinggi, resultan *driving force* lebih rendah karena semakin tingginya temperatur, maka ekspansi fluida panas dalam ruang pembakaran yang terbatas penyebab *back pressure* akan menjadi semakin tinggi. Semakin dalam *chimney*, densitas udara luar di atas kompor semakin kuat menahan gas-gas keluar. Hal ini karena perbedaan temperatur di kedalaman *chimney* semakin besar terhadap temperatur atas

kompor, sehingga gradien densitas fluida udara diuggun briket akan semakin kecil daripada densitas udara luar. Akibatnya, menghambat *driving force* untuk suplai udara dari lubang udara ke dalam kompor (Elbe & Lewis, 1987).



## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metodologi Penelitian

Pada percobaan ini digunakan tiga buah briket yaitu briket promotor bentuk bola dengan *dimples*, briket pemasakan bentuk bola dengan *dimples*, dan briket pemasakan bentuk bantal. Posisi peletakkan *grate* dan ketiga buah briket tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.1.

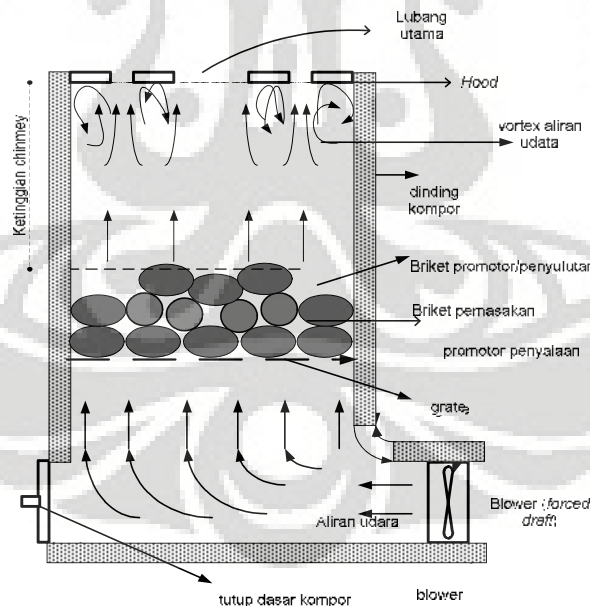
Pada penelitian sebelumnya (Sapur, 2007) briket promotor bentuk bola dengan *dimples* diletakkan pada lapisan pertama, sedangkan pada penelitian ini briket promotor bentuk bola dengan *dimples* diletakkan pada lapisan kedua. Hal tersebut dimaksudkan agar panas yang dihasilkan oleh pembakaran briket promotor tidak banyak yang hilang terbawa udara keluar meninggalkan kompor. Briket promotor bentuk bola dengan *dimples* mengandung oksigenat etil asetat yang berfungsi sebagai penyedia oksigen secara internal dalam material briket karena ketidak-cukupan oksigen saat briket promotor mengalami devolatalisasi (fungsi kinetika kimia). Sedangkan fungsi *dimples* yang terdapat pada briket promotor berfungsi sebagai penguat terjadinya perpindahan panas konveksi dari bara api pada briket promotor ke briket pemasakan yang diletakkan di sekitarnya karena adanya cekukan pada permukaannya (fungsi perpindahan panas). Setelah dibakar menggunakan pembakar alkohol selama 5 (lima) menit, briket promotor tersebut diletakkan di dalam kompor. Hal pertama yang terjadi adalah pembakaran briket promotor secara konduksi, yang terjadi pada bagian briket promotor itu sendiri. Setelah itu briket promotor akan mentransferkan panasnya secara konveksi ke briket pemasakan bentuk bola yang berada di atasnya, dengan bantuan udara yang berasal dari *blower*, sehingga diharapkan *ignition time* dapat lebih cepat tercapai.

Percobaan ini menggunakan briket promotor bentuk bola dengan *dimples* dan briket pemasakan bentuk bola dengan *dimples*. Alasan pemilihan briket bentuk bola dengan *dimples* adalah karena aliran udara yang kontak dengan permukaan briket tidak banyak tertahan pada permukaan briket, sebab membentuk



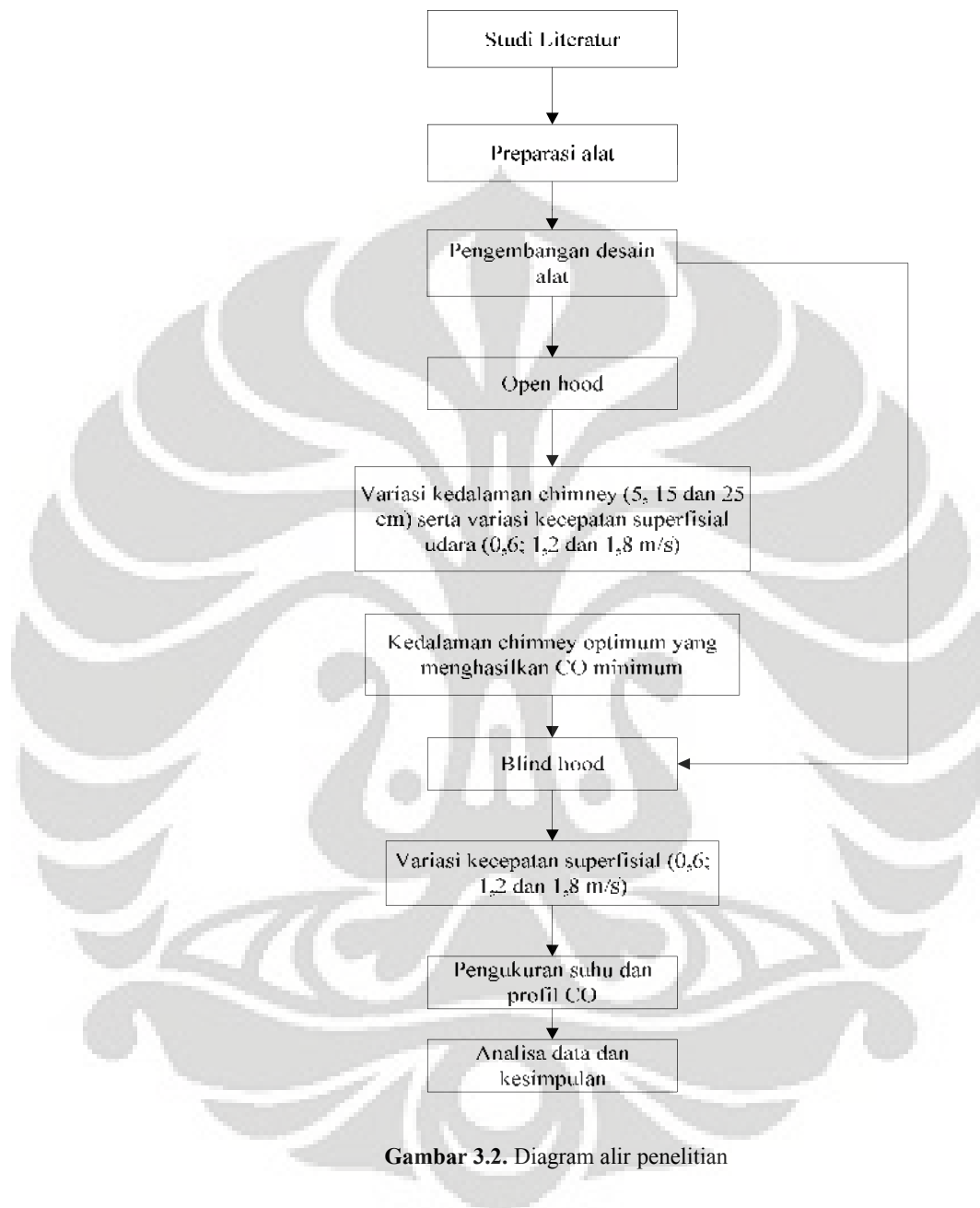
aliran resirkulasi yang kecil pada *dimples* dan resirkulasi yang besar pada bagian belakang *bluff body*.

Adanya aliran udara secara *forced draft* yang berasal dari *blower* maka akan terjadi resirkulasi udara antara briket promotor bentuk bola dengan *dimples* dengan briket pemasakan bentuk bola dengan *dimples*. Resirkulasi tersebut menyebabkan waktu tinggal udara di dalam kompor lebih lama, dan akan terjadi perpindahan panas secara konveksi dari briket promotor bentuk bola dengan *dimples* ke briket pemasakan bentuk bola dengan *dimples*. Hal ini akan menyebabkan *ignition time* yang dihasilkan lebih cepat. Selain itu, terjadi pula resirkulasi udara di dalam *dimples*-nya, sehingga waktu tinggal udara di dalam kompor menjadi semakin lama. Adanya resirkulasi udara di dalam kompor yang semakin besar, mengakibatkan *ignition time* yang dihasilkan akan semakin cepat. Dengan susunan tersebut akan terjadi perpindahan panas secara radiasi ke briket pemasakan di lapisan ketiga (lapisan bawah), perpindahan panas secara konveksi ke briket pemasakan di lapisan pertama (lapisan atas) karena turbulensi oleh *wake* dan lapisan kedua karena adanya *boundary layer* turbulen.



**Gambar 3.1** Sketsa kompor briket dengan *blower* dan *hood*

### 3.3 Diagram alir penelitian



Gambar 3.2. Diagram alir penelitian

Keterangan: kecepatan superfisial yang diukur adalah kecepatan udara pada daerah *chimney* pada saat kondisi pembakaran dingin.

### 3.3 Prosedur penelitian

#### 3.3.1 Preparasi Briket Promotor Bentuk Bola dengan *Dimples*

Alat:

- a. Alat penggerus batubara (tumbukan dan wadah).
- b. Saringan teh.
- c. Timbangan dan *hotplate*.
- d. *Beaker glass*.
- e. Pengaduk kaca.
- f. Gelas ukur 100 mL.
- g. Cetakan briket yang berbentuk bola.
- h. Alat penekan hidrolik.
- i. Sarung tangan untuk bahan kimia.
- j. Masker untuk bahan kimia.
- k. Kertas *wrap*.

Bahan:

- a. Briket batubara super berkarbonisasi jenis *sub-bituminous* dari PT. Bukit Asam Unit Tanjung Enim, Sumatera Selatan.
- b. Oksidator etil asetat ( $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$ ).
- c. Tepung kanji.
- d. Air demin.

Prosedur:

1. Menggerus batubara dengan alat penggerus.
2. Menyaring partikel-partikel hasil penggerusan menggunakan saringan teh dengan diameter 1 mm.
3. Memanaskan 100 mL air demin di dalam *beaker glass* menggunakan *hotplate*.
4. Menimbang 10 gram tepung kanji dan kemudian mencampurkannya ke dalam air demin 100 ml yang sudah dipanaskan, kemudian mengaduknya dengan menggunakan pengaduk kaca hingga kental dan bening.

5. Membuat briket dengan dengan mencampurkan briket seberat 140 gram, etil asetat 15% dengan 30 gram larutan kanji yang telah dibuat (komposisi ini untuk empat buah briket).
6. Mencetak briket berbentuk bola dengan cetakan briket yang telah diberi *dimples* sebanyak 20% dan telah dilapisi kertas *wrap*, kemudian cetakan tersebut ditekan dengan menggunakan alat tekan hidrolik.
7. Mengeringkan briket yang telah jadi dilingkungan tertutup selama  $\pm$  7 hari agar sisa air kanji dan etil asetat menguap habis.

### 3.3.2 Preparasi Briket Pemasakan Bentuk Bola dengan *Dimples*

Alat:

- a. Alat penggerus batubara (tumbukan dan wadah).
- b. Saringan teh.
- c. Timbangan dan *hotplate*.
- d. *Beaker glass*.
- e. Pengaduk kaca.
- f. Gelas ukur.
- g. Cetakan briket yang berbentuk bola.
- h. Alat penekan hidrolik.
- i. Sarung tangan untuk bahan kimia.
- j. Masker untuk bahan kimia.
- k. Kertas *wrap*.

Bahan:

- a. Briket batubara super berkarbonisasi jenis sub-bituminous dari PT. Bukit Asam Unit Tanjung Enim, Sumatera Selatan.
- b. Tepung kanji.
- c. Air demin.

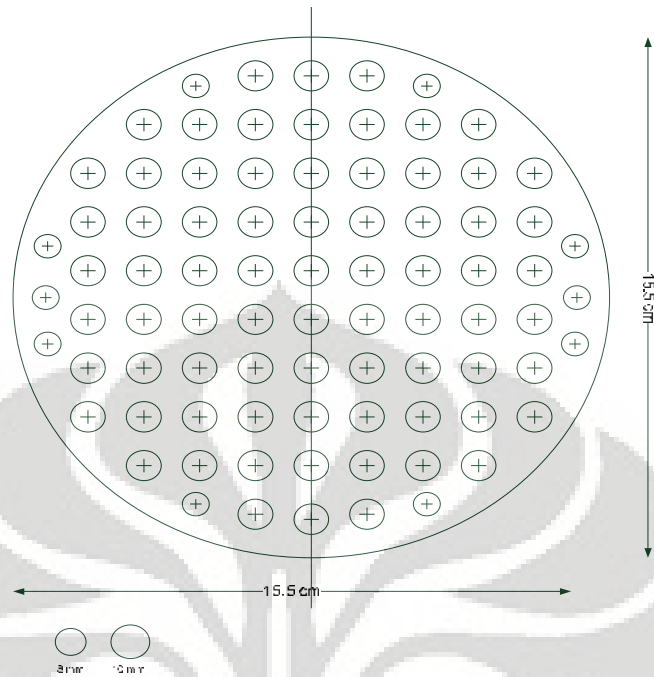
Prosedur:

1. Menggerus batubara dengan alat penggerus.
2. Menyaring partikel-partikel hasil penggerusan menggunakan saringan teh dengan diameter 1 mm.
3. Memanaskan 100 mL air demin didalam *beaker glass* menggunakan *hotplate*.
4. Menimbang 10 gram tepung kanji dan kemudian mencampurkannya ke dalam air demin 100 ml yang sudah dipanaskan, kemudian mengaduknya dengan menggunakan pengaduk kaca hingga kental dan bening.
5. Membuat briket dengan dengan mencampurkan briket seberat 140 gram dengan 30 gram larutan kanji yang telah dibuat (komposisi ini untuk empat buah briket).
6. Mencetak briket berbentuk bola dengan cetakan briket yang telah diberi *dimples* sebanyak 40% dan telah dilapisi kertas *wrap*, kemudian cetakan tersebut ditekan dengan menggunakan alat tekan hidrolik.
7. Mengeringkan briket yang telah jadi dilingkungan tertutup selama  $\pm 7$  hari agar sisa air kanji menguap habis.

### 3.3.3 Pengujian Temperatur dan Emisi Gas CO

Alat:

- a. Kompor yang dilengkapi dengan *blower*.
- b. *Grate* atau media peletakan briket pada kompor yang berbentuk lingkaran dengan persebaran lubang-lubangnya yang tidak merata. Penggunaan *grate* ini bertujuan agar udara yang ada berasal dari *blower* dapat lebih seragam ketika pembakaran terjadi.



**Gambar 3.3** Desain bentuk *grate* yang digunakan dengan ukuran diameter lubang terkecil 8 mm dan lubang terbesar 10 mm

- c. Pembakar alkohol.
- d. *Blind hood* dan *open hood* 6 cm.
- e. Alat pencatat temperatur digital (*Data Logger* merek ADAM-4018 M).
- f. Termokopel (Type K 0 -1370°C).
- g. *Hot Wire Anemometer*.
- h. *Gas Analyser* merek Quintox model KM9006.



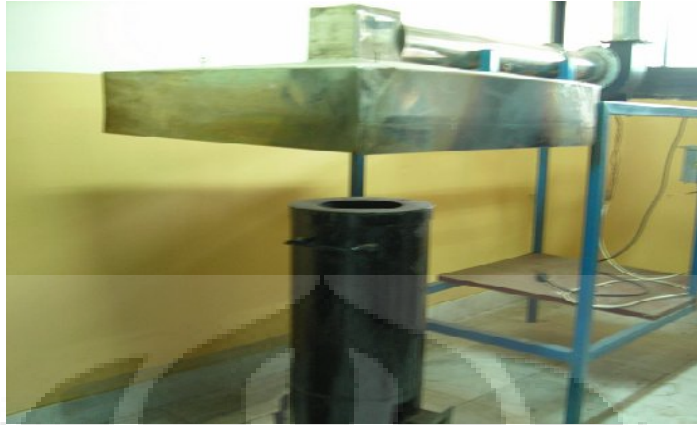
**Gambar 3.4** Quintox gas analyzer

Bahan:

- a. Briket promotor bentuk bola dengan *dimples* yang meliputi 20% dari luas permukaan briket promotor. Berukuran 4 x 4 cm sebanyak 5 (lima) buah yang diletakkan di lapisan kedua secara menyebar (*loading* sebesar 38,5 %). Briket promotor bentuk bola dengan *dimples* tersebut menggunakan briket super berkarbonisasi jenis *sub-bituminous* dari PT. Bukit Asam Unit Tanjung Enim.
- b. Briket pemasakan bentuk bola dengan *dimples* yang meliputi 40% dari luas permukaan briket pemasakan. Berukuran 4 x 4 cm sebanyak 8 buah (*loading* sebesar 100%), dimana 5 (lima) buah briket diletakkan di lapisan pertama dan 3 buah di lapisan kedua. Briket pemasakan bentuk bola dengan *dimples* tersebut menggunakan briket super berkarbonisasi jenis *sub-bituminous* dari PT. Bukit Asam Unit Tanjung Enim.
- c. Briket pemasakan bentuk bantal yang umum digunakan, berukuran 5 x 5 cm sebanyak 5 buah (*loading* sebesar 100%) yang diletakkan dilapisan ketiga. Briket pemasakan bentuk bantal tersebut menggunakan briket non-karbonisasi jenis *sub-bituminous* dari PT. Bukit Asam Unit Tanjung Enim.

Prosedur:

1. Meletakkan briket pemasakan bentuk bantal, briket pemasakan bentuk bola dengan *dimples* dan briket promotor bentuk bola dengan *dimples* ke atas *grate* pada *chimney* 5 cm.
2. Mengalirkan udara kearah briket pemasakan dengan menggunakan *blower* dengan kecepatan superficial sebesar 0,6 m/s.
3. Mengukur kecepatan superficial aliran udara *forced draft* dengan menggunakan anemometer, yaitu menyetel *variac blower* dengan ukuran kecepatan tertentu.
4. Mengukur dengan *fan anemometer* pada beberapa posisi kemudian hasilnya dirata-ratakan untuk memastikan keseragaman udara.
5. Menyiapkan *Quintox* pada *probe* gas buang.



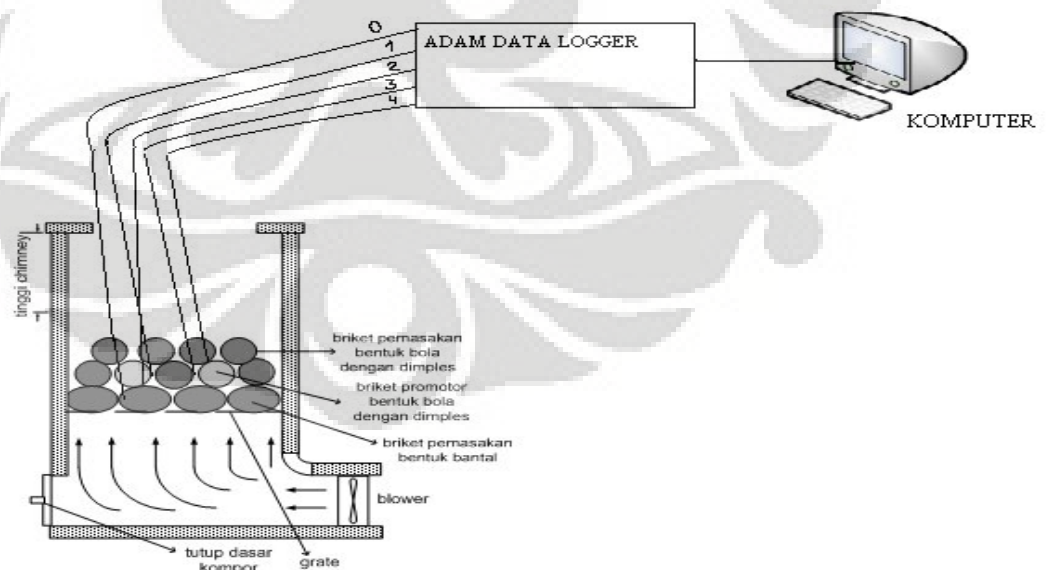
**Gambar 3.5** Peletakkan kompor briket di bawah saluran buang gas hasil pembakaran yang digunakan untuk pengukuran emisi CO

6. Menghubungkan termokopel ke komputer yang sebelumnya telah *diinstall* dengan *data logger* untuk pengambilan data.
7. Membakar lima briket promotor bentuk bola dengan *dimples* dengan cara menyulutnya menggunakan pembakar alkohol selama 5 (lima) menit dengan temperatur  $\pm 300^{\circ}\text{C}$ , agar dicapai temperature bara pada permukaan briket promotor yaitu  $\pm 150^{\circ}\text{C}$ . Briket promotor tersebut kemudian diletakkan di atas briket pemasakan bentuk bantal agar terjadi perpindahan koveksi dari briket promotor bentuk bola dengan *dimples* kepada briket pemasakan bentuk bola dengan *dimples*. Hal ini akan mempersingkat waktu ignisi bagi briket pemasakan.
8. Meletakkan termokopel yang sebelumnya telah terhubung ke komputer pada lima titik, titik pertama di atas kompor, titik kedua hingga keempat dibawah briket pemasakan bentuk boa deng *dimples* yang juga berada di atas briket promotor bentuk bola dengan *dimples* yang sebelumnya sudah dibakar di atas pembakar alkohol.
9. Memulai pencatatan temperatur secara otomatis dengan menjalankan program *data logger* merek ADAM 4018 M.
10. Mengukur emisi CO dengan frekuensi *sampling* 5 menit per sampel.
11. Percobaan dianggap selesai ketika terjadi penurunan temperatur mendekati  $40^{\circ}\text{C}$ .



12. Mengulangi langkah di atas dengan menggunakan variasi kecepatan superfisial udara pembakaran 1,2 dan 1,8 m/s dengan ketinggian *chimney* yang yaitu 15 dan 25 cm dengan menggunakan *open hood*.
13. Setelah mendapatkan kondisi ketinggian cimney optimum, maka hasil yang didapatkan dibandingkan dengan penggunaan *blind hood* dengan variabel kecepatan superfisial yang divariasikan sebesar 0,6 m/s; 1,2 m/s; dan 1,8 m/s.

Berikut adalah skema peletakkan dan gambar dari kompor briket yang digunakan. Pada lapisan pertama (lapisan terbawah) digunakan briket pemasakan yang berjumlah 5 buah. Sedangkan pada lapisan kedua terdiri dari tiga buah briket promotor dan lima buah briket pemasakan bentuk bola dengan *dimples* yang disusun secara berselang-seling. Pada lapisan ketiga (lapisan terluar) diletakkan tujuh buah briket pemasakan bentuk bola dengan *dimples*. *Channel* termokopel berjumlah 5 buah *channel* (0 - 4) yang ditempatkan pada tempat yang berbeda. Hal ini bertujuan agar dapat melihat pengaruh kedalaman dan kecepatan superfisial terhadap gradien temperatur pembakaran briket. Berikut adalah skema dari pengukuran temperatur beserta keterangannya.



**Gambar 3.6** Skema peletakkan termokopel pada pengujian temperatur briket

Keterangan:

Lapisan 1	Briket pemasakan bentuk bola dengan <i>dimples</i> yang meliputi 40% dari luas permukaan briket pemasakan sebanyak lima buah
Lapisan 2	Briket promotor bentuk bola dengan <i>dimples</i> yang meliputi 20% dari luas permukaan briket promotor, sebanyak 3 buah (loading sebesar 38,5%) dan briket pemasakan bentuk bola dengan <i>dimples</i> yang meliputi 40% dari luas permukaan briket pemasakan sebanyak lima buah.
Lapisan 3	Briket pemasakan bentuk bantal yang umum digunakan sebanyak tujuh buah.
<i>Channel 0</i>	Termokopel 0 yang diletakkan di antara dua briket pemasakan bentuk bantal pada lapisan ketiga.
<i>Channel 1-3</i>	Termokopel 1-3 diletakkan di samping briket promotor bentuk bola dengan <i>dimples</i> yang berada di samping briket pemasakan bentuk bola dengan <i>dimples</i> .
<i>Channel 2</i>	Termokopel 2 yang diletakkan di bawah briket promotor bentuk bola dengan <i>dimples</i> yang berada di atas briket pemasakan bentuk bantal.
<i>Channel 4</i>	Termokopel 4 berada di bawah briket pemasakan bentuk bola dengan <i>dimples</i> yang berbatasan dengan briket promotor bentuk <i>dimples</i>

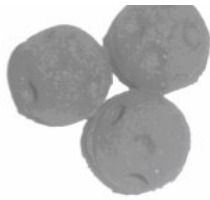
## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan briket berkarbonisasi dan briket non-berkarbonisasi jenis *sub-bituminous*. Untuk briket promotor dan pemasakan bentuk bola dengan *dimples* digunakan briket super berkarbonisasi jenis *sub-bituminous* dari PT. Bukit Asam Unit Tanjung Enim. Pengujian dilakukan di dalam kompor batubara yang telah dilengkapi dengan *blower* di bagian bawah yang berfungsi sebagai penyuplai aliran udara masuk, sehingga akan terjadi aliran udara secara *forced draft* yang akan menjamin kecukupan penyediaan udara pembakaran. Dengan adanya aliran udara secara *forced draft* maka akan terjadi turbulensi udara pembakaran di dalam kompor briket yang akan mempercepat penyalaan dan pembakaran briket batubara di dalam kompor. Di dalam penelitian ini, emisi CO akan diukur pada tinggi *chimney* 5, 15 dan 20 cm, dengan variasi kecepatan udara superfisial sebesar 0,6; 1,2 ; dan 1,8 m/s.

Penelitian tahap pertama dilakukan dengan memvariasikan variabel – variabel di atas yaitu, tinggi *chimney* 5, 15 dan 20 cm dan dengan variasi kecepatan superfisial udara sebesar 0,6; 1,2 ; dan 1,8 m/s. Pada tahap pertama ini, jenis hood yang akan digunakan adalah open hood. Kondisi ketinggian *chimney* optimum yang didapat dari penelitian tahap pertama selanjutnya akan dibandingkan dengan menggunakan jenis hood yang berbeda *blind hood* dengan kecepatan superfisial udara yang divariasikan sebesar 0,6; 1,2 ; dan 1,8 m/.

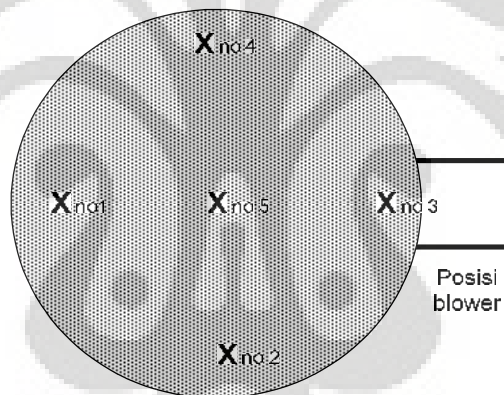
Di bawah ini adalah briket bentuk bola dengan *dimples* yang digunakan. *Dimples* ini akan memperbesar arus konveksi dari penyalaan briket sehingga akan memudahkan penyalaan briket. Penelitian yang dilakukan Suminar (2008) menunjukkan bahwa briket promotor bentuk bola yang berdiameter 4 mm dengan *dimples* di permukaannya menghasilkan waktu penyalaan tujuh menit lebih cepat dibanding dengan briket promotor tanpa *dimples*.



**Gambar 4.1** Bentuk permukaan briket dengan *dimples*

#### 4.1 Pengamatan keseragaman kecepatan udara di daerah *chimney*

Pengukuran kecepatan udara untuk melihat keseragaman kecepatan dilakukan pada luasan di daerah *chimney* pada kompor briket pada kondisi dingin 5 cm di atas unggun briket. Posisi pengukuran ditunjukkan di Gambar 4.1. Hasil pengukuran kecepatan udara pada 3 variasi kedalaman *chimney* ditunjukkan di Tabel 4.1a, 4.1b dan 4.1c.



**Gambar 4.2** Titik-titik pengukuran kecepatan pada luasan horisontal di *chimney*

**Tabel 4.1a.** Pengukuran kecepatan pada luasan horisontal pada kompor dengan kedalaman 5 cm

Titik no	Kecepatan superfisial (m/s)		
	0.6	1.2	1.8
1	0,1-0,4	0,1-0,4	0,1-0,4
2	0,1-0,4	0,3-0,1	0,1-0,2
3	0,1-0,2	0,1-0,4	0,1-0,2
4	0,1-0,3	0,1-0,3	0,1-0,2
5	0,1-0,3	0,1-0,3	0,1-0,3

**Tabel 4.1b.** Pengukuran kecepatan pada luasan horizontal pada kompor dengan kedalaman 15 cm

Titik no	Kecepatan superfisial (m/s)		
	0.6	1.2	1.8
1	0,1-0,2	0,1-0,3	0,1-0,3
2	0,1-0,3	0,2-0,1	0,1-0,2
3	0,1-0,2	0,2-0,1	0,1-0,2
4	0,1	0,2-0,1	0,1-0,2
5	0,1	0,1	0,1-0,3

**Tabel 4.1c.** Pengukuran kecepatan pada luasan pada kompor dengan kedalaman 25 cm

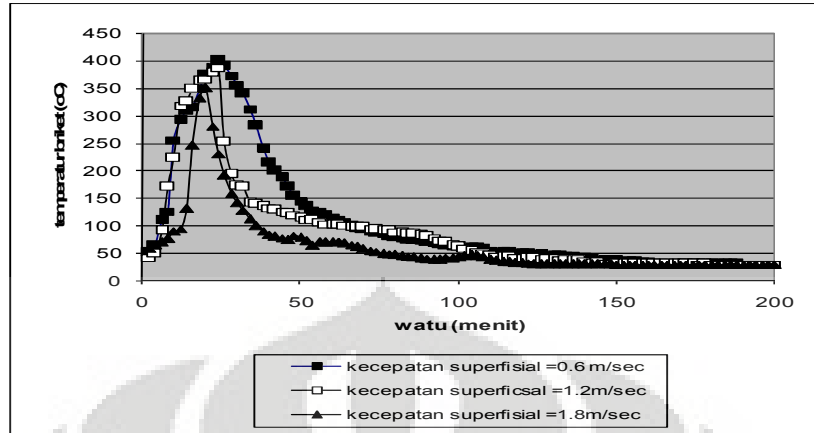
Titik no	Kecepatan superfisial (m/s)		
	0.6	1.2	1.8
1	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1-0,4
2	0,3-0,4	0,1-0,4	0,1-0,3
3	0,1-0,3	0,1-0,3	0,1-0,4
4	0,1-0,3	0,1-0,2	0,2-0,4
5	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1-0,4

Perbandingan harga-harga kecepatan di titik-titik 1, 2, 3, 4, dan 5 untuk masing-masing kedalaman *chimney* dan kecepatan superfisial tertentu di Tabel 4.1a, 4.1b dan 4.1c menunjukkan bahwa keseragaman kecepatan secara praktis tercapai pada berbagai posisi tersebut. Adanya kecepatan minimum dan maksimum terjadi karena adanya turbulensi yang terjadi pada setiap titik tersebut. Pengukuran ini dimaksudkan untuk melihat keseragaman udara pada berbagai titik pengukuran yang diambil secara acak. Keseragaman udara yang terukur ini dimaksudkan agar memastikan distribusi udara ketika pembakaran merata diseluruh bagian briket.

#### 4.2 Pengukuran *ignition time* dan emisi CO pada tinggi *chimney* 5 cm dengan menggunakan *open hood*

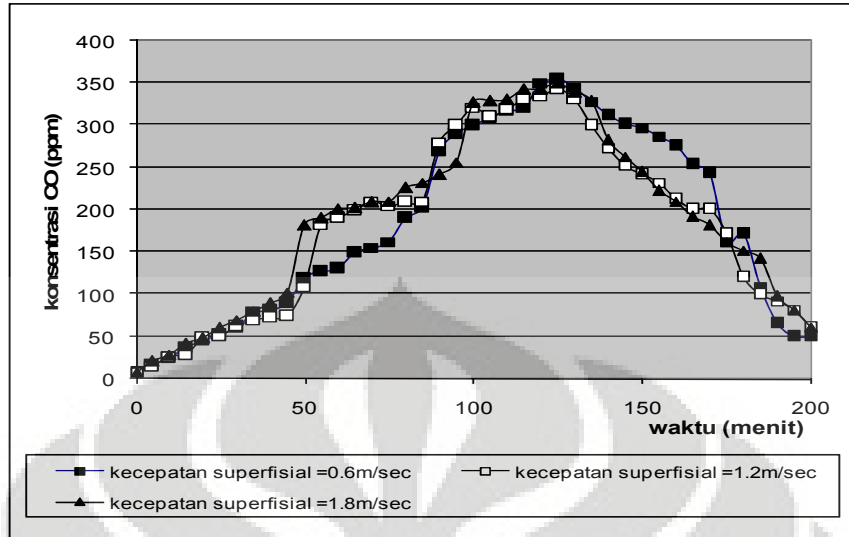
Penentuan waktu penyalaan dilakukan dengan mengamati waktu penyalaan pada briket pemasakan dengan menempatkan termokopel tipe K pada permukaan beberapa briket pemasakan. Banyaknya briket promotor pada lapis kedua adalah sekitar 20% dari jumlah briket di lapis tersebut atau 3 buah briket promotor. Sekitar 40% dari luas permukaan briket promotor diliputi oleh *dimples*. Korelasi antara temperatur dengan waktu akan memberikan data *ignition time*, yaitu waktu di mana temperatur bara mulai terbentuk pada permukaan briket pemasakan, yaitu sekitar 150<sup>0</sup>C.

Gambar 4.3a menunjukkan bahwa pada *chimney* 5 cm, urutan rentang kecepatan superfisial yang untuk menghasilkan suhu yang tinggi ke suhu yang rendah adalah 0,6; 1,2 dan 1,8 m/s. Hal ini terlihat dari Tabel 4.2a yang menggambarkan penurunan suhu maksimum berdasarkan kenaikan laju aliran udara yang dialirkan ke dalam kompor. Kompor dengan aliran udara yang lebih tinggi cenderung memberikan efek *quenching* (pendinginan) pada kecepatan superfisial yang lebih besar karena adanya eksesi udara pada unggun briket batubara yang akan menyebabkan penurunan temperatur pada pembakaran. Setelah mencapai temperatur maksimum seperti yang terlihat pada Gambar 4.3a, temperatur briket akan turun seiring dengan dimulainya perambatan panas ke bagian lain dari briket pemasakan selain sisi bawah briket dan dimulainya pembakaran material karbon briket pemasakan. Dengan besarnya kapasitas panas material briket, panas pembakaran briket akan terserap pada material briket dan menyebabkan turunnya temperatur briket. Pada kecepatan superfisial yang lebih besar, penurunan temperatur briket lebih besar karena efek *quenching* lebih besar. Selain karena oleh absorpsi panas oleh material briket itu sendiri, penurunan temperatur yang terjadi secara gradual juga disebabkan oleh habisnya material bahan bakar itu sendiri.



**Gambar 4.3a** Temperatur briket pemasakan diukur pada kompor briket batubara dengan kedalaman *chimney* 5 cm menggunakan *open hood*

Bila dilihat dari Gambar 4.3b, konsentrasi minimum CO terjadi pada kecepatan superfisial 1,2 m/s menunjukkan angka 179, 87 ppm, sedangkan pada kecepatan superfisial 0,6 m/s dan 1,8 m/s konsentrasi CO yang ditunjukkan masing-masing 182,68 ppm dan 187, 39 ppm. Terlihat bahwa pada kecepatan superfisial 0,6 m/s dan 1,8 m/s konsentrasi CO masih lebih tinggi daripada konsentrasi CO pada kecepatan superfisial 1,2 m/s. Hal ini disebabkan pada kecepatan superfisial udara 1,8 m/s efek yang dominan adalah efek pendinginan yang akan menurunkan temperatur briket secara gradual. Efek pendinginan pada kecepatan superfisial yang lebih besar akan menyebabkan naiknya emisi CO. Sedangkan pada kecepatan superfisial 0,6 m/s, konsentrasi CO yang ditunjukkan juga tinggi. Hal ini dikarenakan kurangnya suplai oksigen untuk membantu oksidasi lanjut CO ke CO<sub>2</sub>. Suplai oksigen yang kurang juga dapat menyebabkan tingginya emisi CO pda *flue gas*.



**Gambar 4.3b** Konsentrasi CO pada *flue gas* dari pembakaran briket batubara dengan kedalaman *chimney* 5 cm menggunakan *open hood*

#### 4.3 Pengukuran *ignition time* dan emisi CO pada tinggi *chimney* 15 cm dengan menggunakan *open hood*

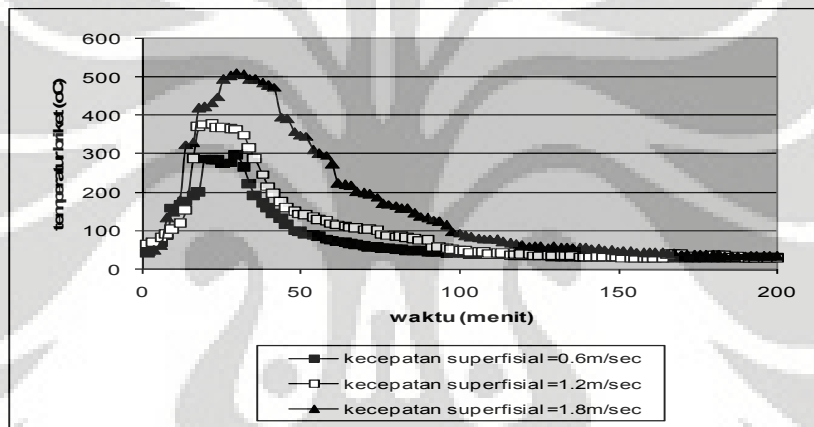
Gambar 4.4a menunjukkan bahwa pada *chimney* dengan kedalaman 15 cm, semakin tinggi kecepatan superfisial, semakin tinggi suhu yang dicapai dan semakin tinggi pula suhu maksimum yang dicapai (lihat Tabel 4.2a). Di dalam kompor, diduga terjadi *back pressure* pada *chimney*. Namun tekanan masukan udara masih dianggap lebih tinggi daripada kecepatan superfisial dari pada *back pressure*, sehingga kecepatan superfisial hanya sedikit dipengaruhi oleh *back pressure*.

Dari Tabel 4.2a dilihat bahwa semakin besarnya kecepatan superfisial udara, maka temperatur maksimum juga akan semakin besar. Hal ini dikarenakan laju reaksi pembakaran yang terjadi juga semakin besar karena adanya eksese oksigen. Eksese oksigen ini akan menyebabkan koefisien perpindahan massa oksigen akan semakin besar sehingga dengan kata lain tahanan perpindahan massa oksigen akan kecil. Hal inilah yang menyebabkan pada kecepatan superfisial 1,8 m/s temperatur maksimum yang dicapai sangatlah tinggi dibandingkan dengan temperatur yang dicapai pada kondisi kecepatan superfisial 0,6 m/s dan 1,2 m/s.



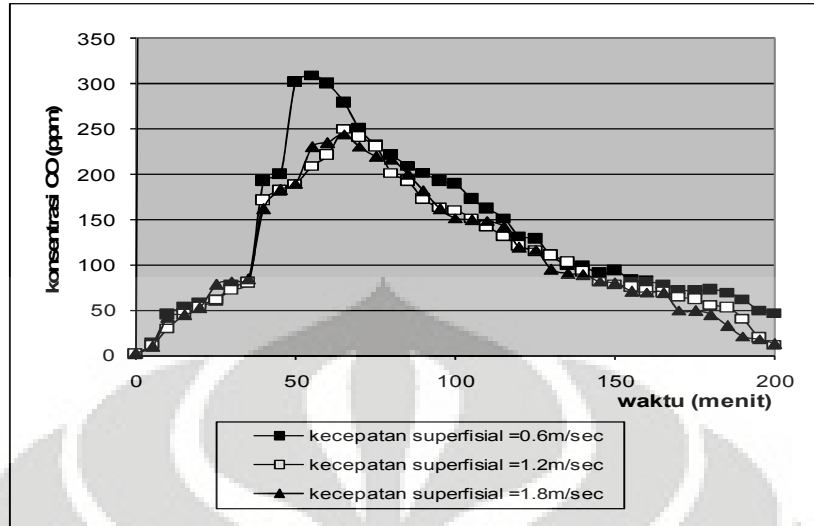
Selain itu, efek turbulensi juga bekerja pada pembakaran. Efek turbulensi menyebabkan perpindahan konveksi lebih besar dari briket promotor ke briket pemasakan sehingga menyebabkan tingginya temperatur pada pembakaran briket.

Setelah mencapai temperatur maksimum, temperatur briket turun seiring dengan dimulainya perambatan panas ke bagian briket lain dari briket pemasakan. Dengan besarnya kapasitas panas material briket, panas pembakaran briket akan tetap terserap pada material briket dan menyebabkan turunnya temperatur briket. Selain karena oleh absorpsi panas oleh material briket itu sendiri, penurunan temperatur yang terjadi secara gradual juga disebabkan oleh habisnya material bahan bakar itu sendiri.



**Gambar 4.4a** Temperatur briket pemasakan diukur pada kompor briket batubara dengan kedalaman *chimney* 15 cm menggunakan *open hood*

Pada kecepatan superfisial yang lebih tinggi, kebutuhan oksigen yang digunakan untuk mengoksidasi CO ke CO<sub>2</sub> dapat dikatakan cukup dibandingkan kebutuhan oksigen pada kecepatan superfisial yang lebih rendah. Oleh karena itu, kecepatan superfisial yang lebih tinggi menghasilkan suhu maksimum pembakaran briket yang tinggi dan konsentrasi CO yang rendah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2b. Pada kecepatan superfisial yang lebih kecil dapat dianggap bahwa selama pembakaran, material briket mengalami kekurangan oksigen sehingga CO tidak bisa teroksidasi lanjut menjadi CO<sub>2</sub>.



**Gambar 4.4b** Konsentrasi CO pada *flue gas* dari pembakaran briket batubara dengan kedalaman *chimney* 15 cm menggunakan *open hood*

#### 4.4 Pengukuran *ignition time* dan emisi CO pada tinggi *chimney* 25 cm dengan menggunakan *open hood*

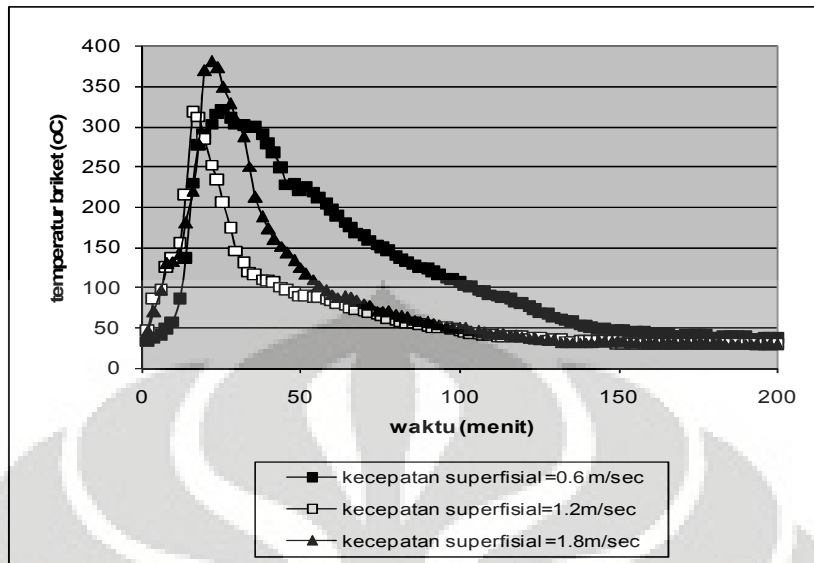
Gambar 4.5a menunjukkan bahwa pada *chimney* dengan kedalaman 25 cm percobaan dengan kecepatan superfisial 0,6 m/ detik memberikan temperatur rata-rata briket lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan 1,2 dan 1,8 m/detik. Pada kedalaman *chimney* ini, efek *back pressure* dari *chimney* menjadi lebih tinggi. Akibatnya, aliran udara masukan terpengaruh oleh *back pressure*. Menurut Rusmalasari, *chimney* yang lebih dalam menyebabkan gradien temperatur sepanjang ketinggian tempat unggun briket menjadi lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa di bawah unggun briket dengan kecepatan superfisial 0,6 m/detik, suhu fluida diduga juga tinggi. Namun, karena efek *back pressure* yang menolak aliran udara masuk, pasokan oksigen untuk oksidasi menjadi terbatas. Dari Tabel 4.2 a dilihat bahwa semakin besarnya kecepatan superfisial udara, maka temperatur maksimum akan semakin besar pula.

Di lain hal, pasokan oksigen lebih tinggi, pada kecepatan superfisial 0,6 m/s dan 1,8 m/s sehingga suhunya lebih tinggi dibandingkan pembakaran yang terjadi pada suhu 1,2 m/s. Hal ini dikarenakan laju reaksi pembakaran yang terjadi juga

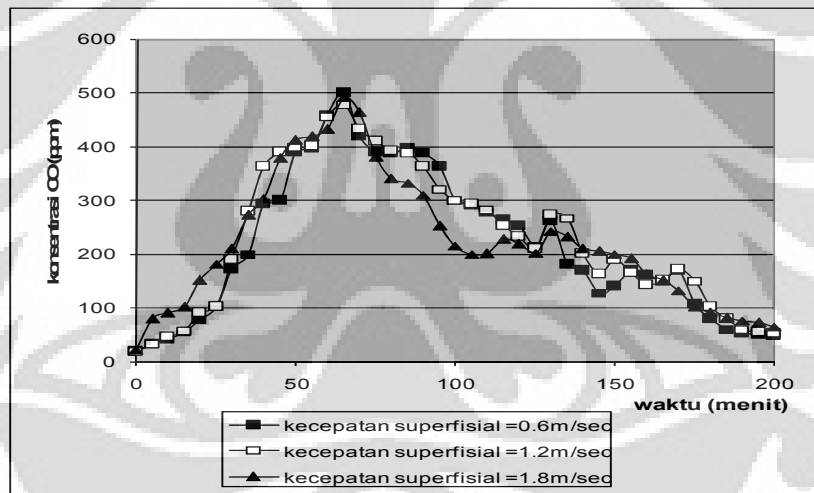
semakin besar karena adanya eksese oksigen. Eksese oksigen ini akan menyebabkan koefisien perpindahan massa oksigen akan semakin besar sehingga dengan kata lain tahanan perpindahan massa oksigen akan kecil.

Setelah mencapai temperatur maksimum, temperatur briket turun seiring dengan dimulainya perambatan panas ke bagian briket lain dari briket pemasakan. Dengan besarnya kapasitas panas material briket, panas pembakaran briket akan tetap terserap pada material briket dan menyebabkan turunnya temperatur briket. Selain karena oleh absorpsi panas oleh material briket itu sendiri, penurunan temperatur yang terjadi secara gradual juga disebabkan oleh habisnya material bahan bakar itu sendiri.

Namun, pada kecepatan 0,6 m/s, konsentrasi CO yang dihasilkan relatif lebih kecil bila dibandingkan dengan konsentrasi CO yang dihasilkan pada kecepatan 1,2 dan 1,8 m/s. Hal ini dapat terjadi karena pada kedalaman *chimney* yang lebih dalam dan dengan kecepatan superfisial yang rendah efek *back pressure* yang ditimbulkan akan semakin tinggi sehingga terjadi penolakan aliran udara keluar. Hal ini akan menyebabkan terjadinya oksidasi lanjut terhadap CO untuk membentuk CO<sub>2</sub>. Pada kecepatan superfisial yang lebih besar, diduga hal yang terjadi adalah dengan kecepatan superfisial yang lebih besar, maka udara pembakaran akan mudah melawan efek *back pressure* yang terjadi sehingga pada akhirnya terbawa oleh aliran *flue gas* ke luar ruang pembakaran. Akibatnya waktu tinggal CO menjadi lebih rendah sehingga menyebabkan tingginya emisi CO yang dihasilkan.



Gambar 4.5a Temperatur briket pemasakan diukur pada kompor briket batubara dengan kedalaman chimney 25 cm menggunakan open hood



Gambar 4.5b Konsentrasi CO pada flue gas dari pembakaran briket batubara dengan kedalaman chimney 25 cm menggunakan open hood

**Tabel 4.2a** Temperatur maksimum dari briket batubara yang diukur pada kompor briket untuk berbagai *chimney* menggunakan *open hood*

Kedalaman <i>chimney</i> (cm)	Temperatur briket maksimum (°C)		
	Kecepatan superfisial = 0.6 m/sec	Kecepatan superfisial = 1.2 m/sec	Kecepatan superfisial = 1.8m/sec
5	400	386.8	350.3
15	295.5	378.6	510.6
25	321.3	316	379.7

**Table 4.2b** Emisi CO rata-rata pada *flue gas* yang diukur pada *open hood*

Kedalaman <i>chimney</i> (cm)	Konsentrasi CO rata-rata pada <i>flue gas</i> (ppm)		
	Kecepatan superfisial = 0.6 m/sec	Kecepatan superfisial = 1.2 m/sec	Kecepatan superfisial = 1.8 m/sec
5	182.68	179.87	187.39
15	131.53	111.97	111.09
25	217.31	229.36	221.95

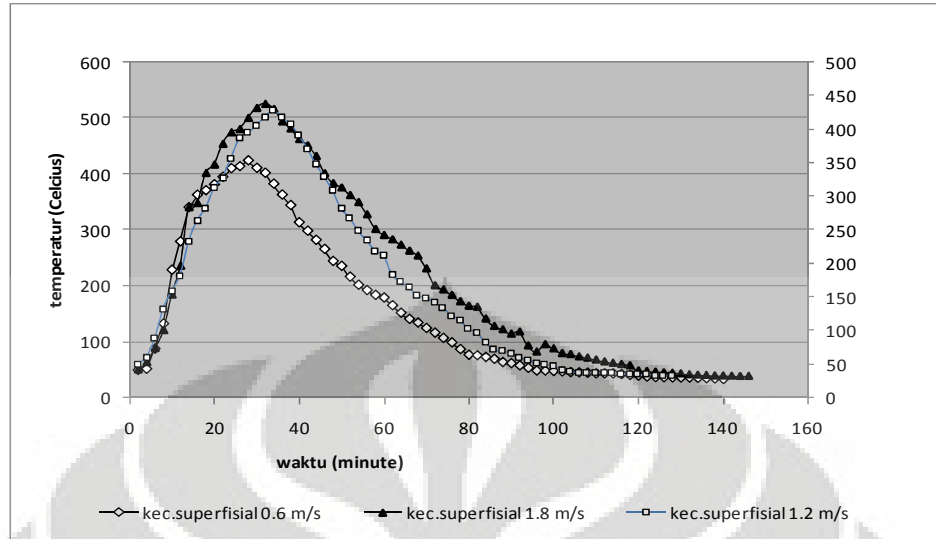
Gambar 4.3b, 4.4b, dan 4.5b memberikan pola serupa berupa adanya puncak konsentrasi CO. Pada kompor dengan kedalaman *chimney* 5 cm (Gambar 4.3b) menunjukkan bahwa puncak konsentrasi terjadi pada menit ke-120, sementara grafik lainnya (Gambar 4.4 b dan 4.5b) memberikan puncak konsentrasi CO pada menit ke-70, kecuali pada *chimney* dengan kedalaman 15 cm dengan kecepatan superfisial 0.6 m/s. Pada *chimney* 15 cm dan dengan kecepatan superfisial 0,6 m/s, puncak konsentrasi CO berada pada menit ke-50. Tampaknya bahwa posisi konsentrasi maksimum CO dipengaruhi oleh kedalaman *chimney*. Semakin dalam *chimney*, maka akan semakin cepat pula terjadi puncak konsentrasi CO. Lebih dalam *chimney*, maka akan membangun *back pressure* lebih besar yang akan menghambat udara ke dalam unggun briket. Di lain hal, *chimney* yang lebih dalam

menyebabkan gradient suhu menurun disepanjang tinggi unggun briket, yang akan meningkatkan suhu dibagian unggun briket yang paling rendah. Meskipun efek pertama yang ditunjukkan dalah peningkatan konsentrasi CO, akan tetapi kemudian cenderung mengurangi konsentrasi CO. Hal ini menguntungkan untuk oksidasi CO. Terlihat bahwa efek *back pressure* dari kedalaman *chimney* bagi aliran udara masuk lebih besar daripada efek gradien suhu.

Sedangkan hasil emisi CO yang dihasilkan dari pembakaran briket untuk penggunaan *open hood* 6 cm, tinggi *chimney* 15 cm dan dengan varian kecepatan *forced draft*-nya, dari Gambar 4.3b dapat dilihat bahwa konsentrasi emisi CO terendah dihasilkan oleh varian kecepatan *forced draft* 1.8 m/s. Hal ini disebabkan karena untuk varian kecepatan *forced draft* tersebut dapat mempertahankan temperatur pembakaran tetap tinggi. Dengan temperatur dijaga tinggi, suplai oksigen yang baik dan waktu tinggal dalam pembakaran yang relatif lama memungkinkan terjadinya konversi dari karbon monoksida menjadi karbon dioksida. Untuk kecepatan *forced draft* 1,8 m/s, konsentrasi CO yang dihasilkan relatif lebih kecil dari kecepatan *forced draft* 0,6 dan 1,2 m/s, hal ini disebabkan karena resirkulasi yang dihasilkan relatif bisa menahan laju alir gas hasil pembakaran yang dihasilkan sehingga gas hasil pembakaran tersebut mengalami proses pembakaran kedua pada ruang pembakaran. Karena karbon monoksida yang dihasilkan dari pembakaran briket tertahan sebagian oleh *hood* teresirkulasi dan kembali terbakar menjadi karbon dioksida. Proses resirkulasi juga terjadi pada ruang antar briket dan itu dapat mempertahankan temperatur tetap tinggi.

#### **4.1 Pengukuran ignition time dan emisi CO pada *blind hood***

Percobaan ini hanya dibedakan penggunaan *hood*-nya, yaitu *blind hood* 6 cm. Untuk variasi kecepatan *forced draft* digunakan sama dengan percobaan sebelumnya yaitu 0,6; 1,2 dan 1,8 m/s, dan tinggi *chimney* yang digunakan adalah 15 cm. Tinggi *chimney* diperoleh dari tinggi optimum yang diperoleh sebelumnya, di mana pada tinggi *chimney* ini diperoleh konsentrasi CO minimum.



**Gambar 4.6a** Temperatur briket pemasakan diukur pada kompor briket batubara dengan kedalaman chimney 15 cm menggunakan blind hood

Untuk percobaan dengan *blind hood* 6 cm, dari Gambar 4.6a di atas dapat dilihat bahwa temperatur pembakaran dengan varian kecepatan *forced draft* 1.8 m/s menghasilkan temperatur pembakaran yang paling tinggi dibandingkan dengan varian kecepatan *forced draft* 0,6 dan 1,2 m/s. Sementara itu waktu penyalaan untuk seluruh varian kecepatan *forced draft* -nya rata-rata berkisar 8 menit. Dan varian kecepatan *forced draft* 0,5 m/s juga mampu mempertahankan temperatur pembakaran yang cukup lama dibandingkan dengan varian kecepatan *forced draft* yang lainnya.

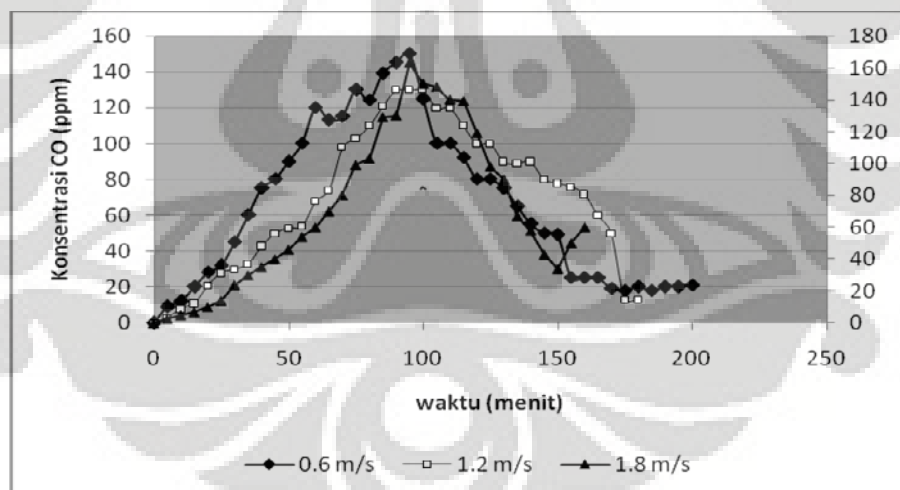
Setelah mencapai temperatur maksimum, temperatur briket turun seiring dengan dimulainya perambatan panas ke bagian briket lain dari briket pemasakan. Dengan besarnya kapasitas panas material briket, panas pembakaran briket akan tetap terserap pada material briket dan menyebabkan turunnya temperatur briket. Selain karena oleh absorpsi panas oleh material briket itu sendiri, penurunan temperatur yang terjadi secara gradual juga disebabkan oleh habisnya material bahan bakar itu sendiri.

**Tabel 4.3a** Temperatur maksimum dari briket batubara yang diukur pada kompor briket untuk *chimney* 15 cm dengan menggunakan *blind hood*

Kedalaman <i>chimney</i> (cm)	Temperatur briket maksimum (°C)		
	Kecepatan superfisial = 0.6 m/sec	Kecepatan superfisial = 1.2 m/sec	Kecepatan superfisial = 1.8 m/sec
15	423.5	430.4	539.4

**Table 4.3b.** Emisi CO rata-rata pada *flue gas* yang diukur pada *blind hood*

Kedalaman <i>chimney</i> (cm)	Konsentrasi CO rata-rata pada <i>flue gas</i> (ppm)		
	Kecepatan superfisial = 0.6 m/sec	Kecepatan superfisial = 1.2 m/sec	Kecepatan superfisial = 1.8 m/sec
15	65.097	63.756	64.12195



**Gambar 4.6b** Konsentrasi CO pada *flue gas* dari pembakaran briket batubara dengan kedalaman *chimney* 15 cm menggunakan *blind hood*

Pada kecepatan superfisial yang lebih tinggi, kebutuhan oksigen yang digunakan untuk mengoksidasi CO ke CO<sub>2</sub> dapat dikatakan cukup dibandingkan kebutuhan oksigen pada kecepatan superfisial yang lebih rendah. Oleh karena itu,



kecepatan superfisial yang lebih tinggi menghasilkan suhu maksimum pembakaran briket yang tinggi dan konsentrasi CO yang rendah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3b. Pada kecepatan superfisial yang lebih kecil dapat dianggap bahwa selama pembakaran, material briket mengalami kekurangan oksigen sehingga CO tidak bisa teroksidasi lanjut menjadi CO<sub>2</sub>. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa pada blind hood, konsentrasi CO yang dihasilkan lebih besar daripada konsentrasi CO yang dihasilkan pada open hood. Hal ini menunjukkan bahwa pada *blind hood*, udara pembakaran lebih lama tertahan di ruang pembakaran. Udara pembakaran ditahan lebih lama oleh *hood* yang ada. Tidak seperti *open hood* yang memiliki desain dengan banyak lubang, *blind hood* memiliki desain minimalis dengan lubang utama berdiameter 6 cm. Desain inilah yang mempengaruhi resirkulasi paksa dari udara pembakaran. Resirkulasi paksa inilah yang menyebabkan CO dapat teroksidasi lebih lanjut dengan oksigen sehingga CO yang dihasilkan mencapai nilai minimum.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Kecepatan laju alir *forced draft* 0,5 m/s dan kedalaman chimney 15 cm (untuk *open hood* 6 cm) menghasilkan konsentrasi emisi CO rata-rata paling rendah diantara varian kecepatan laju alir *forced draft* yang lainnya, yaitu sebesar 111.09 ppm dan temperatur maksimum yang dihasilkan adalah 510.6 °C.
2. Kecepatan laju alir *forced draft* 1,2 m/s (untuk *blind hood* 6 cm) menghasilkan konsentrasi emisi CO rata-rata paling rendah diantara varian kecepatan laju alir *forced draft* yang lainnya, yaitu sebesar 63.756 ppm.

#### 5.2 SARAN

1. Dengan membandingkan temperatur yang dihasilkan dari penggunaan *blind hood* dan *open hood* 6 cm disarankan untuk menggunakan *blind hood* 6 cm agar temperatur yang dihasilkan yang dicapai bisa lebih tinggi.
2. Untuk menghasilkan emisi CO yang rendah (63.1 ppm) maka pemakaian *blind hood* dengan kecepatan *forced draft* 1,2 m/s dan tinggi chimney 15 cm lebih disarankan daripada pemakaian *open hood* pada tinggi chimney dan kecepatan *forced draft* yang sama.
3. Perlu adanya modifikasi *inverter* agar memiliki kestabilan aliran udara masuk yang baik jika digunakan untuk kecepatan yang diatur lebih rendah atau yang lebih tinggi lagi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. [http: wikipedia.org/American Journal of Epidemiology](http://wikipedia.org/American Journal of Epidemiology). 2002.
- Ayling, A.B., and Smith, I.W., Measured temperatures of burning pulverised-fuel particles, and the nature of the primary reaction product, *Combustion And Flame*, 1972, vol. 18, pp.173-184
- Balia, L., *Penelitian Dan Pengembangan Briket Batubara Di Indonesia*, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral RI, 1996
- Bartok, W. and Sarofim, A.F., *Fossil fuel combustion : A source Book*, Wiley-Interscience, 1991
- Beck, N.C. and Hayhurst, A.N., The early stages of the combustion of pulverized coal at high temperatures I : The kinetics of devolatilisation, *Combustion and Flame*, vol. 79, pp. 47-74,1990
- DESM, *Rencana Pengembangan Produksi Dan Pemanfaatan Briket Batubara 2006-2010*, Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral RI, 2005
- Durie, R.A., *The Science Of Victorian Brown Coal, Structure, Properties And Consequences For Utilisation*. Butterworth Heinemann, 1991
- Fardiansyah, M. A. *Penelitian Sifat Bakar Material Dengan Kalorimeter Api: Pengaruh Variasi Ketebalan Kayu Tropis Jati Dan Kamper Terhadap Sifat Nyala*. Depok: Skripsi Departemen Teknik Mesin FT UI, 2006
- Heschel, W.,Rweyemamu, L., Scheibner, T.,and Meyer, B.,*Abatement of emissions in small-scale combustors through utilistion of blended pellet fuels*, 1999
- Lau, C.W., and Niksa, S., 1992, The combustion of individual particles of various coal types, *Combustion and Flame*, vol. 90, pp. 45-70.
- Lewis, B. and von Elbe, G., *Combustion, Flames and Explosions of Gases*, *Academic Press, Inc*, 1987.

- Makino, A. Drag coefficient of a slowly moving carbon particle undergoing combustion, *Combustion Science and Technology*, 1992. vol. 81, pp. 169-192
- Muliana, Afif. *Pengaruh Ketinggian Downjet Terhadap Pembentukan Polutan CO Pada Kompor Briket Batubara*. Depok : Skripsi Departemen Teknik Kimia FT UI, 2008.
- Purwanto, W.W., Nugroho, Y.S., Supramono, D., *Indonesia Energy Outlook And Statistics 2006*, Jakarta: Pengkajian Energi UI, 2006
- Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara (tekMIRA), [www.tekmira.esdm.go.id](http://www.tekmira.esdm.go.id)
- Sari, S. D., *Efek Kecepatan Superfisial Udara Pembakaran Dan Tinggi Chimney Terhadap Waktu Penyalaan Kompor Briket Batubara*. Depok: Skripsi Departemen Teknik Kimia FT UI, 2007
- Setiawan, Yesay. *Pengurangan Emisi Co Pada Kompor Briket Batubara Dengan Menggunakan Metode Downjet*. Depok : Skripsi Departemen Teknik Kimia FT UI, 2008.
- Rusmalasari, Silvi. *Pengaruh tinggi chimney dan kecepatan forced draft terhadap ignition time briket dengan dimples*. Depok: Skripsi Departemen Teknik Kimia FT UI, 2008.
- Supramono, D. *Proposal RUUI Program Unggulan 2007: Pengurangan Emisi Polutan Gas CO pada Kompor Briket Batubara dengan Mengintroduksi Downjet*, Depok: Fakultas Teknik UI, 2007
- Supramono, D., dan Suminar, R., Pengaruh variasi *loading* briket promotor, bentuk briket promotor dan bentuk briket pemasakan terhadap waktu penyalaan kompor briket batubara, *Seminar Nasional Hasil Penelitian 2008*, Universitas Djuanda, Bogor, 19-20 Agustus 2008.
- Suminar, R., Pengaruh variasi *loading* dan bentuk briket promotor terhadap waktu penyalaan kompor briket batubara, Skripsi S1 Reguler, *Departemen Teknik Kimia UI*, 2008.
- Thurgood, J.R., and Smoot, L.D., in *Pulverised Coal Combustion and Gasification* (L.D. Smoot and D.T. Pratt), Plenum, New York, 1979, p. 168

Turns, S.R., *An Introduction to combustion, concepts and applications*, McGraw-Hill, 2<sup>nd</sup> edition, 2000

Walker, P.L., Rusinko, F., and Austin, L.G., Gas reactions of carbon, *Advances in Catalysis*, 1959, vol. 11, p. 133

